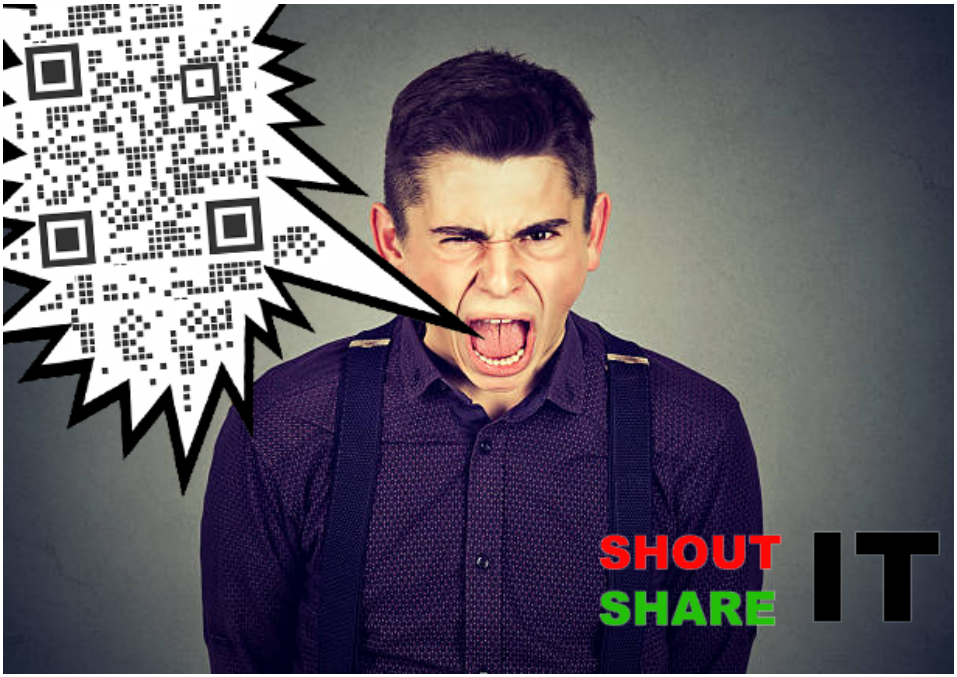
Н. В. Вершинский

ученые школьнику

ДЭ

Загадки океана


SHOUT
SHARE
IT

Annotation

В книге доктора технических наук Н. В. Вершинского рассказывается о современных научных исследованиях Мирового океана. Школьники расширят свои знания о науке океанологии, познакомятся с гидрофизическими, геологическими и другими проблемами, с возможностями использования богатств Мирового океана для развития народного хозяйства СССР.

- К читателю
- Великий неизвестный
- Вихри открытого океана
- Гидротермы и экологические оазисы
- Гигантский конвейер на дне океана
- Мертвая и живая вода
- Микро- и макроструктуры

К читателю

Люди давно изучают Мировой океан (совокупность всех морей и океанов Земли), но до сих пор знают его недостаточно.

Маленькая лаборатория океанологии, созданная для обработки материалов легендарной станции «Северный полюс-1» заботами и трудами академика Петра Петровича Ширшова, превратилась в Институт океанологии АН СССР (ИОАН), который теперь носит его имя. Более 40 лет научно — исследовательские суда института бороздят воды Мирового океана. Они сделали около 200 рейсов, пройдя за это время более 4 млн. морских миль. Вихри открытого океана — первое звено в цепочке современных открытий — были обнаружены советской экспедицией в 1970 г. С тех пор каждый год приносит новые данные об их размерах, направлении вращения, температуре и энергии.

Нам еще предстоит многое узнать об океане, решить много загадок. Этим и занят большой отряд ученых — океанологов. Над чем они работают?

В число трех самых важных вопросов современной океанологии входит изучение микроструктуры океанских вод, турбулентности и внутренних волн.

Ученые изучают необычную жизнь в глубинах, еще недавно считавшихся пустынными, холодными и темными. При громадном давлении и высокой температуре там в экологических оазисах процветают богатые колонии невиданных ранее животных. Если Солнце погаснет, они это заметят не сразу.

Новейший глубоководный обитаемый аппарат «Мир» совместной советско — финской постройки. Рассчитан на работу на глубинах до 6 тыс. м.

Движение литосферных плит{Слова, выделенные курсивом, смотри в кратком словаре специальных терминов.}, происхождение гидротерм и их роль в образовании ценных сульфидных и корковых руд привлекают особое внимание морских геологов и биологов. Подводные руды — надежда металлургов. Еще не совсем ясно, как лучше их искать и добывать. Наиболее изучены поля железомарганцевых конкреций, но они обычно находятся на больших глубинах. Внутренние волны, еще недавно считавшиеся редким явлением, в настоящее время занимают умы ученых.

Одно из новых направлений — изучение влияния аномалий температуры воды в океанах на погоду континентов: в Атлантическом — Европы, Тихом — Америки, Индийском — Индии и Африки. Президент АН СССР академик Г. И. Марчук предложил проследить за влиянием на климат изменений параметров океана с помощью периодических измерений в отдельных его районах, относительно небольших по размерам, но характерных по совершающимся в них физическим процессам. Особенно там, где наиболее интенсивно идет теплообмен между океаном и атмосферой. Они названы энергоактивными зонами (ЭАЗо). Была создана «Программа исследования взаимодействия

атмосферы и океана в целях изучения короткопериодных изменений климата».

Изучение короткопериодных колебаний климата (длительностью от месяца до нескольких лет) имеет большое значение для сельского хозяйства, потому что его успешное ведение очень зависит от погоды. Важно знать наперед погоду и многим другим отраслям народного хозяйства, например морскому и воздушному транспорту.

В Атлантическом и Тихом океанах выделено пять ЭАЗо: Норвежская, Ньюфаундлендская, зона Гольфстрима, Атлантическая тропическая и зона Куросио. Четыре раза в год здесь проводятся исследования на полигонах размерами 1500Х2000 км. Однако некоторые океанологи считают, что необходимо брать большие площади. Высказываются мнения и за увеличение числа контролируемых ЭАЗо.

Программу выполняет около 10 % экспедиционного флота нашей страны: 25–30 рейсов в год делают научно — исследовательские суда. Наиболее интенсивное взаимодействие между океаном и атмосферой происходит в холодную половину года. В этот период во всех взятых под наблюдение энергоактивных зонах одновременно выполняется максимальная программа наблюдений. Конечная цель этой программы — создание математической модели взаимодействия океана с атмосферой. Это очень важная и трудная задача.

Великий неизвестный

Великим неизвестным назвал Мировой океан глава советской океанологии академик Л. М. Бреховских, основатель нового направления — акустики океана. (За выдающиеся работы в области акустики в 1977 г. Акустическим обществом Великобритании и английским Институтом акустики Л. М. Бреховских награжден Золотой медалью имени Релея. А в 1986 г. ему присуждена премия имени А. П. Карпинского. Эта премия присуждается за выдающиеся научные достижения в области природоведческих наук на благо человечества.) Каждый год в океане обнаруживаются новые явления. Вот одно из последних: член — корреспондент АН СССР К. Н. Федоров и кандидат физико — математических наук А. И. Гинзбург нашли в океане новые когерентные структуры. Так они назвали особый вид поверхностных течений в форме гриба или в виде вихревых диполей. К. Н. Федоров и А. И. Гинзбург сначала обнаружили их при изучении космических фотографий поверхности океана, сделанных со спутника «Метеор», а потом воспроизвели эти явления на лабораторной установке в Институте океанологии (см. рис. на с. 7 и 9).

На рисунках на с. 7 представлены космическая фотография грибовидного течения и его схема. Подобные снимки удаются только в том случае, если на поверхности воды океана есть тот или иной трассер (трассером могут быть плавающие на поверхности океана льдинки или скопления фитопланктона, а в лабораторных экспериментах — капля краски или чернил). Не все еще ясно в образовании этого удивительного явления. И самое главное — каков характер импульса, вызывающего его появление?

Космическая фотография грибовидного течения в океане.

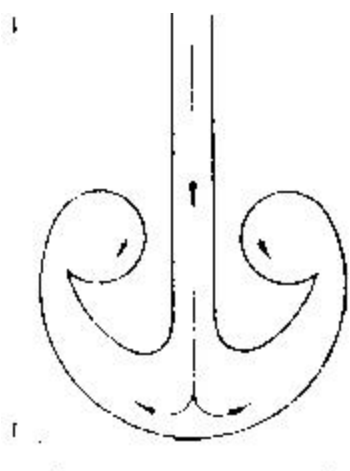
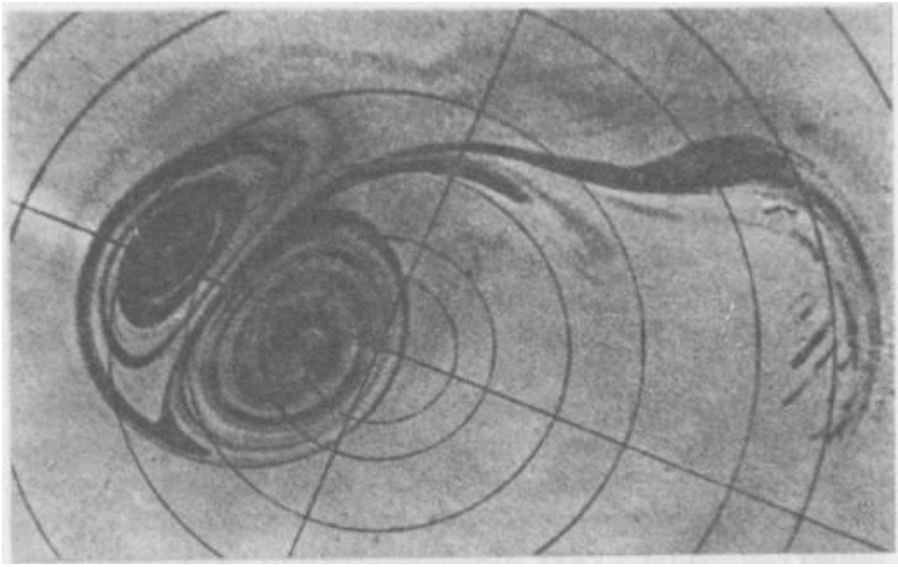


Схема грибовидного течения.



Грибовидное течение, смоделированное на лабораторной установке.

Что такое океанология? Это комплекс пяти наук: физики и химии океана, его геологии и биологии, техники для исследования. Проблемы, возникающие при изучении Мирового океана, связаны с различными научными дисциплинами. Этими проблемами успешно занимается Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР.

Океанология — советский термин. Примерно тот же комплекс наук на Западе чаще называют океанографией. У нас же под океанографией обычно понимается более узкий комплекс научных дисциплин, без биологии и геологии.

Отдельные науки, входящие в океанологический комплекс, объединяет техника. Прежде всего — научно — исследовательское судно (НИС). Оно — основной инструмент океанологов, без хорошего судна в океане ничего не сделаешь. На борту НИС имеются приборы для измерения основных параметров морской воды. Если экспедиция имеет комплексный характер, то в ней работают представители всех разделов океанологии. Но часто бывают и специализированные рейсы, тогда приглашаются специалисты по теме рейса. Но, каким бы рейс ни был, на борту судна окажутся хоть по одному представителю других наук.

К числу измеряемых в океане физических параметров океанологи относят следующие.

Температура. Информация о температуре воды на разных глубинах океана необходима всем специалистам. Гидрофизики по

температуре определяют различные водные массы и находят в океане фронты или пограничные слои между ними. Данные о температуре воды очень важны для биологов. В океане рыбаки ищут рыбу в зоне высоких градиентов температуры, там крнцентрируются планктонные организмы, которые служат пищей рыбам. Синоптики также учитывают температуру воды в океане. Если в энергоактивные зоны или близко к берегам Европы подойдут большие синоптические вихри с пониженной температурой воды, то тепла ждать не приходится.

Особое значение для биологов, акустиков и военных моряков имеет распределение температуры во — ды по вертикали: расположение слоя скачка температуры, известного под названием сезонного термоклина или слоя «жидкого грунта». В нем скапливаются планктонные животные и могут лежать, как на настоящем грунте, подводные лодки. Глубина залегания слоя скачка температуры изменяется в зависимости от сезона года. Зимой он глубже, а летом — ближе к поверхности.

Интересуются температурой воды, особенно в придонных слоях, и морские геологи. Им важно знать распределение температуры по вертикали в слое осадков на дне. По величине и знаку градиента температуры они могут судить о тепловом потоке, идущем в океан из недр Земли.

Измерение температуры океана с борта научно — исследовательских судов занимает много времени и стоит дорого. Поэтому ученые ищут новые способы, позволяющие получать информацию о температуре дешевле и быстрее. Перспективными считаются измерения температуры поверхности океана со спутников, когда используется инфракрасное излучение (ИК) или излучение в области сверхвысоких частот (СВЧ). В этом случае удается быстро получить информацию о распределении температуры по большей части Мирового океана. Но точность измерений не всегда достаточна.

Недавно советскими учеными предложен новый метод измерения, основанный на эффекте когерентного антистоксовского рассеяния света (КАРС). Сущность его заключается в том, что поверхность океана освещается поляризованным светом лазера. О температуре воды судят по отношению двух взаимноперпендикулярных компонент отраженных лучей. Ученые предполагают, что разработка метода КАРС позволит измерять поверхностную температуру океана с погрешностью не более $\pm 0{,}1$ °С.

А пока для получения точных данных проводятся одновременные исследования океана с помощью НИС, автоматических буев, самолетов и искусственных спутников

Земли.

Удельная электропроводность. Эта величина важна для изучения различных свойств океана. Она представляет собой проводимость столба воды длиной 1 м, площадью поперечного сечения 1 м^2. Величиной, обратной ей, является удельное сопротивление.

В морской воде электрическое сопротивление зависит от температуры, солености и гидростатического давления.

Пульсации температуры и солености затухают в океане с различными скоростями. Это очень важная особенность: сравнение затухания двух кривых позволяет установить время начала пульсаций от прошедшего объекта. Можно узнать, когда он прошел.

Исследование нарушений микроструктуры в океане можно анализировать и с помощью других физических свойств: датчиков пульсаций скорости звука или датчиков, регистрирующих изменения коэффициента пропускания света. Параметры эти интересуют океанологов — акустиков и океанологов — оптиков. Они важны не только для изучения микроструктуры. Например, информация о скорости звука позволяет уточнять работу судовых эхолотов и гидролокаторов. Акустическая связь в океане и сверхдальнее распространение звука также нуждаются в информации о скорости звука. А изучение светового режима вод океанов привело к возникновению оптической океанографии, решающей широкий круг задач.

Соленость. Есть несколько определений солености. Общепринятое — общее количество растворенных солей в 1 кг морской воды.

Парадоксальный факт — нет прибора, который мог бы прямо определить содержание соли в воде с достаточной точностью. Она выявляется по электропроводности воды или по показателю преломления света с помощью интерферометра.

Ученые некоторых стран вообще отказались от измерения солености в ходе экспедиций и стали пользоваться упрощенной формулой, полагая, что во многих случаях ни стратификация, ни циркуляция, ни адвекция, ни конвекция не зависят от солености, а все эти процессы определяются только температурой вод.

Однако знание солености воды очень важно для морских биологов. Многие морские животные погибают, если соленость воды становится выше допустимого предела. Это происходит, например, в Азовском море с некоторыми видами рыб (бычками и судаком).

В 1987 г. член — корреспондент АН СССР К. Н. Федоров в докладе на Ученом совете Института океанологии им. П. П.

Ширшова АН СССР отметил, что соленость в Мировом океане играет куда большую роль, чем это принято думать. Он привел много интересных фактов.

Например, по данным советского ученого А. И. Перескокова, более чем в 40 % объема Мирового океана соленость обеспечивает создание стратификации, благоприятной для развития конвекции по типу двойной диффузии. Это очень важно с точки зрения влияния океана на климат. Под влиянием солености происходит трансформация водных масс Мирового океана, обеспечивается вентиляция термоклина, возникает глубокая конвекция и происходят многие другие удивительные явления, в том числе образование солевых пальцев и загадочных гигантских линз.

Советский ученый Б. А. Каган подсчитал, что ледовый режим Северного Ледовитого океана тесно связан с соленостью. Если бы удалось повысить соленость арктических вод, то, возможно, удалось бы полностью освободить Северный морской путь от льда!

А американский ученый У. Брокер отметил, что только благодаря повышенному значению солености в Северной Атлантике последние 9 тыс. лет европейцы живут в относительно теплом климате. Доктор Виллебранд из ФРГ предупреждает: надо следить за тем, чтобы соленость вод Северной Атлантики не понижалась. Иначе направление циркуляции вод в Атлантике может измениться на противоположное, что приведет к наступлению новой ледниковой эпохи. Вот какое важное значение имеет соленость.

Плотность. Гидрофизикам требуется знать плотность воды в океане на разных глубинах. Плотность обычно вычисляют по измеренной температуре и удельной электропроводности с внесением поправки на гидростатическое давление. Это — косвенный метод; прямой метод позволил бы повысить точность измерения одного из самых главных физических параметров океана. Но нет удобного прибора, который мог бы работать в широком интервале глубин — от поверхностных слоев хотя бы до средней глубины океана (3710 м).

Для измерения основных параметров воды океанологи применяют зонды — измерительные приборы, опускающиеся с палубы НИС в океан. Они зондируют его толщу, измеряя основные гидрофизические параметры по мере погружения в глубину. Информация по кабелю передается в судовую ЭВМ или фиксируется в регистрирующем устройстве автономного зонда, не связанного кабелем с судном, что позволяет избежать влияния качки судна на результаты измерений.

Существуют различные зонды для измерения температуры, удельной электропроводности и гидростатического давления. Одни рассчитаны на работу в течение многих лет, другие — только на одно измерение, а потом тонут. Их называют обрывными термозондами (ОТЗ). С помощью таких зондов можно измерить распределение температуры в океане по вертикали на ходу НИС, не останавливаясь. Это очень важно, особенно для военных кораблей, ведь остановка в условиях боевых действий может привести к гибели.

Разработаны обрывные зонды для оперативного измерения и некоторых других параметров, как, например, скорости звука и электропроводности.

Морским химикам, кроме того, необходимо знать и многое другое. Например, содержание в воде биогенов, питательных солей для развития водорослей, концентрацию водородных ионов (pH), содержание углекислоты и других газов, в первую очередь кислорода. В последние годы усилился интерес к определению содержания в морской воде метана и гелия как индикаторов гидротерм.

Объединение различных научных дисциплин в океанологическом комплексе позволяет ставить и успешно решать задачи на стыке различных наук. Полвека назад никто и не помышлял об изучении Мирового океана в таких масштабах, как теперь. Заслуга в постановке этого вопроса принадлежит советским ученым.

Пионер океанологии. Организатором и первым директором Института океанологии был академик Петр Петрович Ширшов, удивительный человек. Будучи студентом биологического факультета Днепропетровского института народного образования, он плавал через стремнины Днепра за образцами особых водорослей, росших тогда на скалах знаменитых днепровских порогов. Теперь грозных порогов нет, они скрылись под водой после постройки плотины Днепрогэса. Но остались две научные, работы, посвященные этим водорослям.

После окончания института П. П. Ширшов переезжает в Ленинград и становится научным сотрудником Ботанического института АН СССР, а затем переходит на работу в Арктический институт. В 1930 г. Петр Петрович принял участие в экспедиции на Кольский полуостров, занимался составлением биологической карты на Новой Земле. В 1934 г. П. П. Ширшов снова отправляется в Арктику — в экспедицию на борту парохода «Челюскин». В тяжелейших условиях арктической ночи П. П. Ширшов не прекращал научной работы в ледяном лагере. Едва умолкли овации героям челюскинской эпопеи, как

П. П. Ширшов снова отправляется для исследований в Арктику на ледоколе «Красин».

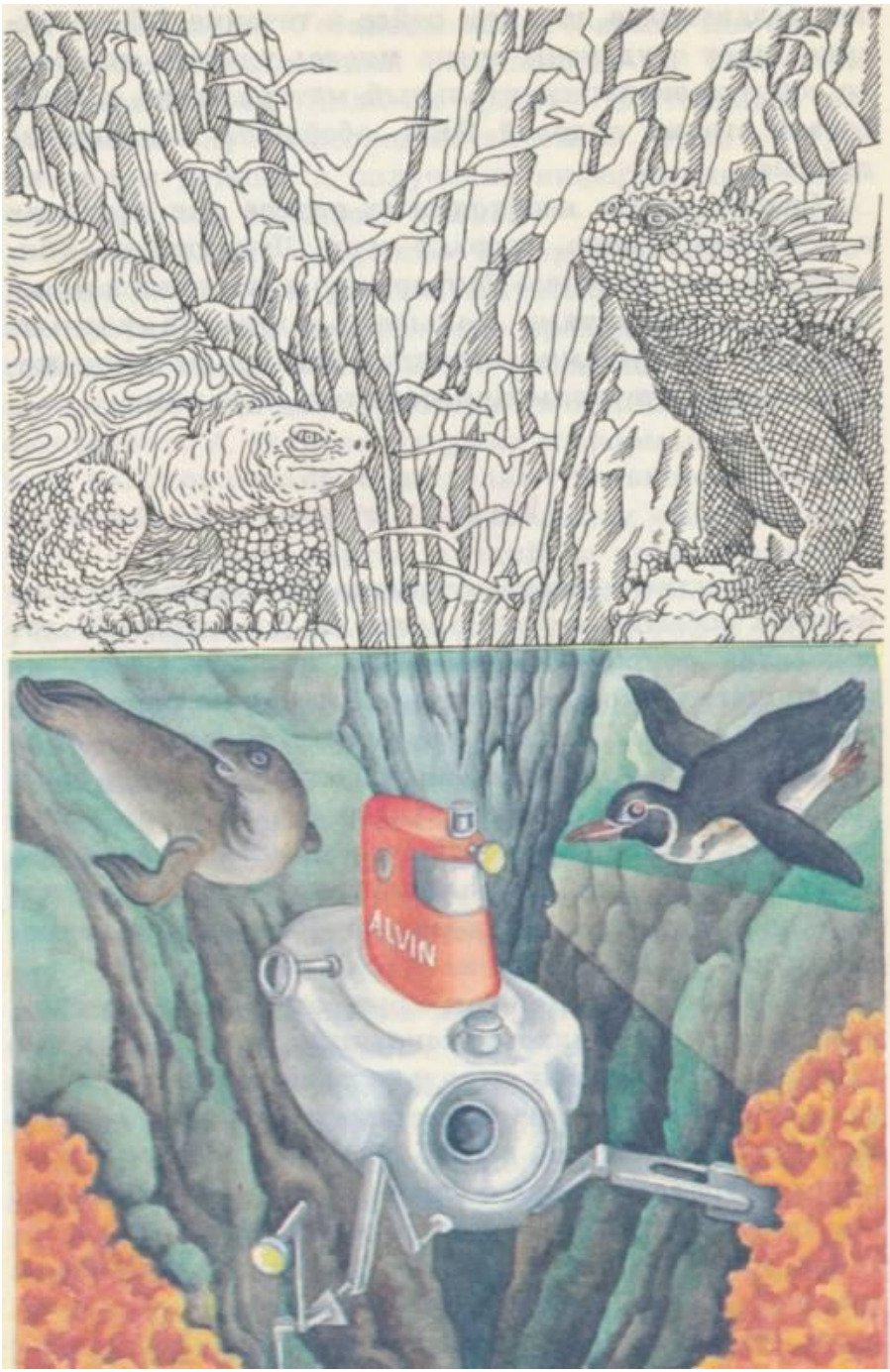
В 1937–1938 гг. имя П. П. Ширшова прославилось на весь мир. В составе знаменитой четверки «папанинцев» он высадился на льдину на Северном полюсе. Первое, что он там начал делать, — это рубить вместе со своими товарищами прорубь в толстенном, многометровом льду, на котором был разбит лагерь. Когда была сделана прорубь, П. П. Ширшов опустил в нее трал для лова морских обитателей. Что-то вроде большой «авоськи» из сетного полотна с мелкими отверстиями. Опустил, несмотря на то, что ему хорошо была известна господствовавшая тогда гипотеза, согласно которой в Северном Ледовитом океане на полюсе нет и не может быть никаких животных. Океан там глубок — более 4 км тонкого стального троса было намотано на барабане его ручной лебедки. Это была очень тяжелая работа, в которой принимали участие все «папанинцы». Исследования закончились полным успехом — океан на полюсе оказался населенным. В прорубь опускался не только трал, но и другие приборы. В том числе — опрокидывающийся термометр (ртутный), сделанный так, что он позволяет измерить температуру воды на той глубине океана, где нужно. Обычным термометром этого сделать нельзя. Измерения на станции «Северный полюс» показали, что относительно теплые воды из Северной Атлантики доходят до района полюса, но находятся глубоко подо льдом. Это было открытие. П. П. Ширшов объяснил его так: атлантические воды, входящие в Полярный бассейн, продвигаясь на север и восток, охлаждаются. Поэтому становятся более тяжелыми и опускаются в глубины Ледовитого океана. Было сделано много важных наблюдений.

За выдающиеся открытия в биологии и гидрофизике океана П. П. Ширшов был избран в 1939 г. в действительные члены Академии наук СССР.

Мы помним П. П. Ширшова не только как выдающегося ученого, полярника и директора Института океанологии. Пятнадцать лет он был министром морского флота Советского Союза, в том числе и в тяжелые годы Великой Отечественной войны. Одновременно он являлся заместителем Председателя Совета Министров СССР по транспорту. Он всегда отличался скромностью и простотой, был ровным в обращении с подчиненными. Его научные труды внесли большой вклад в мировую науку.

Как стать океанологом. Морских специалистов различных профилей, инженеров и научных работников готовят различные средние и высшие учебные заведения нашей страны.

Географический и физический факультеты Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова выпускают океанологов широкого профиля и гидрофизиков.



В Московском физико — техническом институте, на кафедре термогидромеханики океана, также готовят высококвалифицированных специалистов. Институт океанологии им. П. П. Ширшова — база для студентов этой кафедры. Ученые института читают лекции по специальным предметам. Студенты получают хорошую подготовку по математике, физике, гидродинамике, технике физического эксперимента в океане. В одном из отделений Института океанологии студенты проходят первую практику после окончания III курса, а после V курса они отправляются в дальнее плавание на одном из научно — исследовательских судов института. На практике они знакомятся с методами и техникой физических исследований океана и собирают материалы для своих дипломных работ. Плавание в дальнем рейсе в течение 3,5–4 месяцев дает студентам очень много: удается не только собрать экспериментальный материал, но и обработать его на судовой ЭВМ, обобщить полученные данные.

Специалистов, необходимых стране для изучения и освоения океана, готовят вузы Ленинграда, Тбилиси, Одессы, Ростова. Непрерывно пополняется молодыми специалистами большой коллектив ученых, занятых изучением и освоением океана. От души желаю моим читателям присоединиться к ним.

Вихри открытого океана

Как трудно сделать открытие. К числу наиболее важных событий в океанологии за последние 20 лет относится открытие громадных вихрей. Никто не предполагал, что в открытом океане могут быть грандиозные вихри. Раньше знали только вихри, образующиеся в быстрых течениях вблизи морских берегов. Было известно также, что сильные вихри могут возникать в прибрежной полосе во время приливно — отливных течений. Первый вихрь в открытом море был зафиксирован экспедицией Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР.

В 1967 г. в Аравийском море советскими исследователями проводилась экспедиция под названием «Полигон-67». Мысль о пользе полигонных исследований была высказана известным советским ученым В. Б. Штокманом еще в 1935 г.: чтобы получить правильное представление о физических процессах в каком-либо районе Мирового океана, необходимо достаточно долго наблюдать за происходящим в одном и том же районе. Не сразу это было принято океанологами. Полвека назад Мировой океан казался куда более стабильным. Установление его изменчивости — результат исследований океанологов за последние два десятилетия. Полигон требует длительного нахождения научно — исследовательского судна в ограниченном районе, а получение информации с больших районов Мирового океана — быстрого проведения длинных «разрезов» в меридиональном, широтном или любом другом направлении. Преодолеть это противоречие можно. Надо проводить различные рейсы. Во время полигонного рейса научно — исследовательские суда долго работают в ограниченном районе океана. А если необходима информация с больших районов океана, суда делают большие переходы по заданному маршруту. В экспедиции «Полигон-67» были составлены карты течений во время первой и второй гидрологических съемок одного и того же участка Аравийского моря на глубине 150 м. Теперь мы знаем, что замкнутые линии тока на картах показывают — перед нами подводные вихри. Но в 1967 г. никто не решился сделать такой категорический вывод. Карты «а» и «б» были получены с большим разрывом во времени: «а» — по данным измерений с 21 января по 7 февраля 1967 г., «б» — с 20 марта по 6 апреля 1967 г., что не позволило установить тесную связь развития вихрей на обеих картах.

Ученые ограничились выводом: имеются хорошо выраженные бароклинные возмущения течений с горизонтальным масштабом около 250 км. Вихри открытого океана еще не были открыты…

А теперь с уверенностью можно сказать: это был крупный вихрь Индийского океана, диаметром в подводной части (на глубине 150 м) около 250 км.

Синоптические вихри. В феврале — сентябре 1970 г. под руководством академика Л. М. Бреховских была проведена экспедиция «Полигон-70». Основной ее задачей было исследование течений в типичном районе открытого океана, т. е. вдали от берегов и фронтальных областей. Эксперимент проводился в южной части Северного пассатного течения Атлантического океана с глубинами от 5000 до 5500 м.

На этом полигоне использовались буквопечатающие гидрометрические измерители скорости течения типа БПВ-2 (конструкции ленинградского специалиста Ю. К. Алексеева), попросту называемые вертушками. На этот раз применили новую методику их использования: в исследуемом районе океана было поставлено одновременно около двухсот вертушек в точках, расположенных по лучам прямоугольного креста. Подобная расстановка измерителей скорости позволила охватить наиболее широкий спектр частот возможных колебаний скорости течения. Каждый луч имел длину 100 км. Центр располагался на 16°30′ с. ш. и 33°30′ з. д. В каждом луче по 4 буя с вертушками и один общий буй в центре, всего 17 буев. На рисунке на с. 21 дана схема расположения измерителей БПВ-2. На тросах, привязанных к каждому бую, размещалось по 10 вертушек на глубинах от 25 до 1500 м. Одновременно использовались и автономные регистраторы температуры воды.

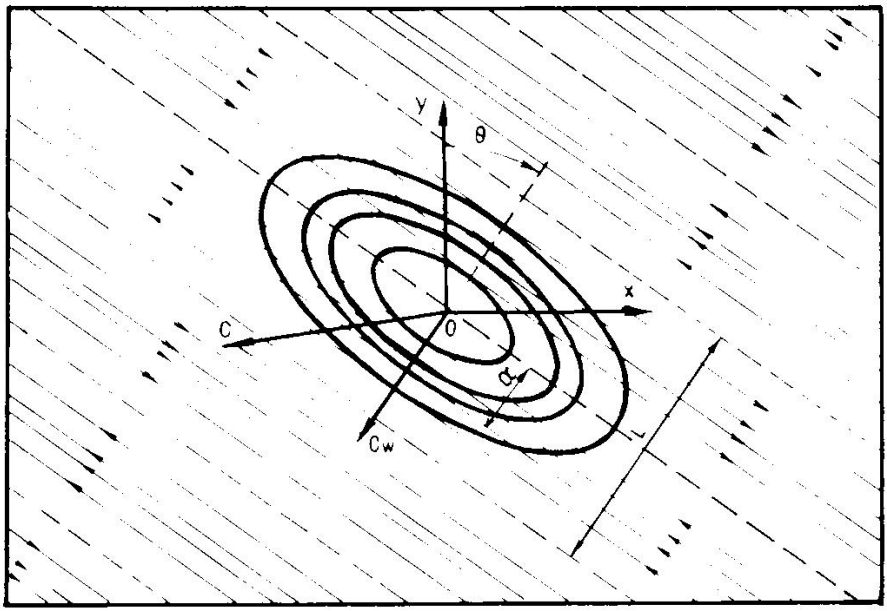


Схема главного антициклона на «Полигоне-70». Эллипсы — линии тока в поле течений вихря, прямые линии — в поле волны, L — длина волны, а — расстояние от центра вихря до струи с максимальной скоростью, с — скорость поступательного движения вихря, c_w — фазовая скорость волны; x, y — прямоугольные координаты/

Почти полгода работали научно — исследовательские суда Института океанологии на этом относительно небольшом квадрате в океане: следили за сохранностью буев, проверяли их расположение, перезаряжали или сменяли вертушки, выполняли общую гидрологическую съемку. Чтобы обнаружить вихри и проследить их перемещение по океану, необходимо было достаточно долго вести непрерывные измерения на выбранной акватории. Вертушки простояли на полигоне почти шесть месяцев. Потом их записи скорости и направления течений были обработаны на ЭВМ. В результате был надежно зафиксирован великолепно выраженный антициклонический вихрь (это вращение воды по часовой стрелке для северного полушария), проходивший через район полигона в направлении на запад — юго — запад с начала апреля по начало июля 1970 г. Этот вихрь был назван Главным вихрем.

Одновременно была зарегистрирована задняя часть еще одного антициклонического вихря, который двигался впереди Главного вихря. Вихри шли почти вплотную один за другим.

Главный вихрь имел форму эллипса с отношением осей примерно 1:2. Малая полуось вихря была размером около 100 км;

она определялась как расстояние от центра вихря до точек с максимальной орбитальной скоростью на периферии вихря (расстояние «а» на рисунке на с. 21). Средняя скорость движения его центра за время апрель — июль 1970 г. была 5,5 см/с. А наибольшая орбитальная скорость движения воды на периферии вихря достигала 35 см/с на глубинах 400–600 м.

Подобные вихри получили название синоптических. Синоптическими в метеорологии называются изменения с периодом от нескольких суток до нескольких месяцев. С открытием вихрей в океане этот термин прочно вошел в океанологию.

Механизм образования вихрей. Самое интересное заключается в том, что океанский вихрь оказался волной Россби. К такому выводу пришел доктор физико — математических наук М. Н. Кошляков после тщательного изучения результатов работы на «Полигоне-70».

На рисунке на с. 21 приведена схема Главного вихря. Буквой L обозначена длина волны. Подсчет по известной формуле Россби дал значение размеров вихря, довольно близко совпавшее с экспериментальными данными.

Сегодня синоптические вихри открытого океана рассматриваются доктором физико — математических наук М. Н. Кошляковым и другими учеными как сложный синтез волн Россби и крупномасштабной турбулентности. Каждый вихрь — своеобразный комплекс из высокоорганизованного физического процесса (волна Россби) плюс чисто случайное турбулентное завихрение большого масштаба. Процент турбулентной "примеси" может сильно колебаться от вихря к вихрю. В этом заключается одна из трудностей изучения и прогнозирования вихрей открытого океана.

Вихри синоптического масштаба раньше были известны только в атмосфере. Океанологи не сразу признали факт образования их в океане. Ныне это больше не вызывает сомнений. Вихри образуются благодаря бароклинной неустойчивости крупномасштабных течений.

Сообщение советских ученых о перемещающихся в океане громадных вихрях вызвало интерес у ученых — океанологов во всем мире. В 1973 г. американские ученые на своем полигоне в Саргассовом море в расширенном масштабе повторили измерения и подтвердили результаты советских исследователей. Американский эксперимент получил название «Моде-1».

В 1974 г. на новом полигоне в районе Субарктического фронта в северо — западной части Тихого океана советские ученые, работавшие на научно — исследовательских судах

«Витязь» и «Дмитрий Менделеев», открыли еще один вихрь. Он — самый большой, овальной формы, размер его по большой оси около 150 миль (1 морская миля = 1852 км), скорость течения на его периферии достигла 100 см/с. Вихрь проникал на глубину до 3000 м.

В юго — западной части Саргассова моря с июля 1977 г. по сентябрь 1978 г. была проведена совместная советско — американская экспедиция под условным названием «Полимоде». В ней участвовали 10 научно — исследовательских судов. Основой эксперимента были 19 буйковых станций Института океанологии, которые располагались в узлах сетки из равносторонних треугольников. Центр сетки находился на 29° с. ш., 70° з. д., расстояние между станциями — 72,7 км. На этом полигоне было найдено много разных вихрей. Особенно сильные вихри (гидрофизики называют их бароклинными) были сосредоточены в слое главного термоклина или выше его. Скорость течения в них достигала 70–80 см/с на горизонтах 100 и 400 м, что значительно выше средней скорости течения в обследованном районе Саргассова моря.

Столкновение вихрей. На полигоне «Полимоде» впервые была получена информация о поведении вихрей при встрече друг с другом. В начале апреля в южную часть полигона вошел крупный вихрь с востока, а в конце апреля в северо — западную часть вторгся с севера такой же сильный вихрь. В начале мая произошло резкое сближение, сопровождавшееся их частичным слиянием. В результате в тылу возникла сильная струя воды юго — восточного направления, плотность кинетической энергии которой возросла в 12 раз. Эффект невиданной концентрации энергии был прослежен в верхнем слое океана толщиной 1000 м.

Синоптические вихри несут громадные количества энергии. Например, в конце февраля в северо — западном углу полигона сформировался вихрь, полная кинетическая энергия которого в слое от 0 до 1400 м глубины была оценена в $17–10^{14}$ Дж!

Вихри — энергоемкие образования. Они могут оказывать влияние на изменение погоды. В этой связи необходимо учитывать разность температур воды в вихре и в окружающем океане.

Изучение вихрей из космоса. 1 сентября 1977 г. со спутника с помощью инфракрасного радиометра был обнаружен только что образовавшийся антициклонический вихрь. Температура воды в нем была на 11 °С выше температуры воды окружающего океана. Наибольший размер вихря достигал 185 км. За 5 месяцев он прошел не менее 360 миль со средней скоростью 4,5 км/сутки. Во время этого перехода он охлаждался: разность температуры

между его водами и океаном упала до 3–4 °С. Одновременно несколько сократился максимальный размер вихря — до 148 км. Зато глубина перемешанного слоя воды увеличилась с 50 до 100 м. За одну неделю, во время которой над ним прошли два шторма, верхний слой воды вихря толщиной 200 м охладился на 1 °С. Расчет показал отдачу энергии поверхностью вихря в атмосферу, равную 1357 Вт/м^2.

Чтобы оценить громадную величину последней цифры, вспомним, что солнечная постоянная равна 1360 Вт/м^2. Получается, что вихрь отдавал энергию с такой же интенсивностью, какую дает излучение Солнца в космосе и какой никогда не бывает на уровне поверхности океана из-за поглощения излучения в атмосфере.

Отметим, кстати, что в наше время солнечная постоянная, одна из мировых констант, перестала быть постоянной… Как недавно сообщила группа американских исследователей под руководством Р. Уилсона, общая интенсивность солнечного излучения за 1980–1985 гг. понизилась на 0,1 %. Уменьшение солнечной радиации происходило со скоростью примерно 0,019 % в год. Если процесс уменьшения радиации Солнца продолжится и дальше с той же скоростью, то к 1990 г. суммарное затухание составит 0,2 %. В этом случае солнечная «постоянная» станет равной 1357,4 Вт/м^2, т. е. будет близка к величине отдачи мощности вихрем. Уилсон связывает уменьшение интенсивности излучения с обычным одиннадцатилетним циклом солнечной активности. В пользу этого предположения свидетельствует одновременно наблюдавшееся его группой уменьшение магнитной активности.

В прежних прогнозах солнечной активности возможность таких колебаний не учитывалась. Однако, как считает автор, реальной опасности для климата Земли обнаруженное уменьшение интенсивности излучения Солнца, видимо, пока не представляет.

В теплообмене вод вихря с воздухом особую роль играют потоки скрытого и ощутимого тепла (испарение с поверхности воды вихря). Оно зависит от скорости ветра, удельной влажности воздуха в приводном слое и разности температуры между воздухом и водой. При разности порядка 10–11 °С испарение может быть очень большим. Поэтому большой теплый вихрь при определенных условиях может натворить много бед, содействуя образованию смерчей (торнадо, ураганов). Факт углубления циклонов при выходе их на теплую поверхность океана хорошо известен.

По данным советских ученых, вихрь отдает тепло атмосфере

более интенсивно, чем поверхность невозмущенного океана при тех же условиях. Иной и режим теплообмена над вихрем.

Вихри бывают и холодные. Подход к берегам большого вихря может вызвать похолодание. Особенно если вихрей будет много, если они пойдут друг за другом. Например, у восточного побережья Камчатки были обнаружены целые цепочки больших холодных вихрей, температура воды в которых была на 5 °С ниже температуры окружающих вод. В целом вопрос о влиянии вихрей на атмосферные процессы еще недостаточно изучен. Метеорологи оценивают такое влияние как потенциально существенное.

После обработки фотографических снимков, сделанных с борта американского искусственного спутника Земли «Лэндсат-2» с высоты 915 км, были обнаружены вихри диаметром около 30 км. На одном из фотоснимков зафиксировано сразу не менее восьми вихреобразных образований на поверхности океана, в том числе три хорошо развитых двойных кольцеобразных вихря.

А в 1985 г. экспедиция Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР зарегистрировала в тропической зоне Атлантики вихри размером около 50 км.

Следовательно, в океанах встречаются вихри большого диаметра — порядка 100–300 км, среднего — около 50 км и малого — около 30 км. Является ли это типичным для всех океанов? Или такой набор случайный, связанный с недостаточно большим числом измерений? А может быть, имеется непрерывный пространственный спектр вихрей с максимумами на отдельных размерах?

Некоторые ученые полагают, что нет в океанах непрерывного ансамбля вихрей всех размеров. А имеются три основных типа вихрей, размеры которых примерно соответствуют найденным.

Исследование океанских вихрей важно не только с точки зрения взаимодействия океана и атмосферы, но также и для изучения процессов передачи загрязнения в океанах, влияния на биологическую продуктивность, для навигации. Придется, видимо, периодически издавать или передавать по радио синоптические карты течений. Так, как это делается с картами погоды. Ведь каждому судну, идущему в океане, необходимо знать направление и скорость течения, иначе штурман не сможет точно рассчитать путь судна.

Но периодически получать точные карты течений в океане с помощью буйковых постановок с вертушками не так-то просто. На помощь морякам в наши дни пришла спутниковая навигация. Положение судна в море определяется с высокой точностью с помощью искусственных спутников Земли. Для этого на каждом судне устанавливается особая аппаратура. Погрешность в

определении места не превышает ±0,1 мили, а в случае необходимости может быть еще уменьшена. Созданы упрощенные образцы спутниковой навигационной аппаратуры даже для небольших судов.

Спутники могут помочь и в быстром составлении точных карт течений. Для этого в изучаемом районе океана на воду спускают особые буйки, за которыми следит спутник. Находясь в режиме свободного дрейфа, буйки отслеживают течения, а спутник контролирует изменения их положения и сообщает координаты буйков в Центр обработки, где быстро получают информацию о скорости и направлении течений и их изменениях в разных районах Мирового океана.

Имеются и другие радиотехнические способы определения местонахождения судов в море, не связанные со спутниками. Некоторые из них отличаются чрезвычайно высокой точностью определения. Например, советские фазовые радиогеодезические системы для проведения различных морских исследований дают «привязку» с ошибкой в пределах от 2–3 до 30 м на расстояниях от станций до 200 км ночью и до 300 км днем. Указывается место судна в условных координатах, которые легко пересчитать в обычные географические координаты, т. е. широту и долготу. Столь точное определение местонахождения судна требуется при проведении различных геофизических исследований на морском дне. Например, при поисках нефти и других полезных ископаемых, при бурении, при аварийно — спасательных работах и для других целей.

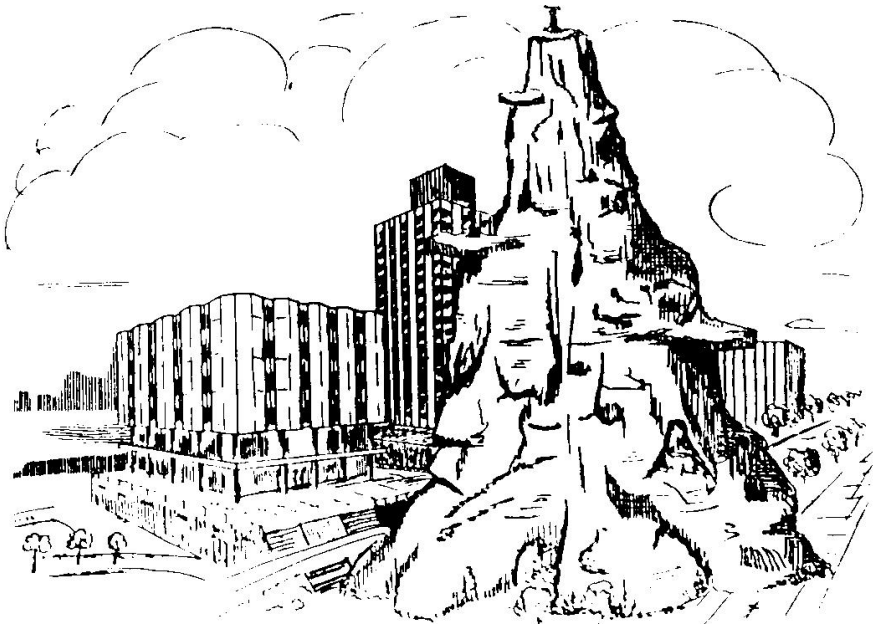
Вихри в океане и широкий круг вопросов, связанный с ними, — одна из наиболее важных проблем современной океанологии. Приоритет советской науки в этом вопросе признан учеными всего мира.

Гидротермы и экологические оазисы

Радиограмма. 19 ноября 1986 г. в Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР пришла радиограмма с борта научно — исследовательского судна «Дмитрий Менделеев», находившегося в Тихом океане. Сквозь даль океанских просторов и атмосферные помехи мы получили фантастическую информацию от руководителя экспедиции члена — корреспондента АН СССР А. П. Лисицына.

На входе в Калифорнийский залив на дне котловины Гуаймас обнаружено большое количество гигантских башен гидротермальной постройки. Высота их достигает несколько десятков метров, а вес — нескольких сотен тысяч тонн. Пробы показали богатое содержание цветных металлов. Башни гудят, шипят, некоторые извергают жидкое пламя высотой до 1 км. Оно сжигает изоляцию кабеля. Измерительный зонд поврежден. В условиях термоопасности сделано 25 погружений подводными обитаемыми аппаратами «Пайсис». После погружений они пахнут дизельным топливом. В гидротермальных постройках, возможно, имеется нефть. В том же районе обнаружены выходы газогидратов. Найдено 8 групп микроорганизмов, другие необычные животные. Собрали богатую коллекцию.

Наша экспедиция нашла очень большие гидротермальные сооружения на дне океана — башни. Представление об их размерах дает рисунок на с. 30, где семиэтажное здание Института океанологии в Москве изображено на фоне одной из таких построек. Она чем-то напоминает гигантский термитник.



Гигантская гидротермальная постройка в сравнении со зданием Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР.

В ней более полумиллиона тонн ценнейшей руды.

Интересно, что очень горячая вода на поверхность океана не выходит. В этом состоит одна из трудностей поиска гидротерм. На высоте всего 200 м над местом выхода горячих струй на дне (по измерениям американских ученых), температура воды только на 0,02 °С больше температуры окружающих слоев воды океана.

Куда девается горячая и, видимо, более соленая вода? Вопрос этот недостаточно исследован. Дело, видимо, в коллапсе. Так называется мало изученное явление, вызванное стратификацией океана. Поднимающиеся вверх струи воды наталкиваются на неподвижный слой океанской воды иной плотности. Он действует как потолок. Натыкаясь на него, идущие снизу струи не в силах его пробить и растекаются в стороны, образуя подобие «блина».

В результате этого эффекта близ дна могут образовываться большие объемы воды с высоким градиентом температуры. Может быть именно там следует располагать установки для преобразования энергии теплового градиента в электрическую энергию?

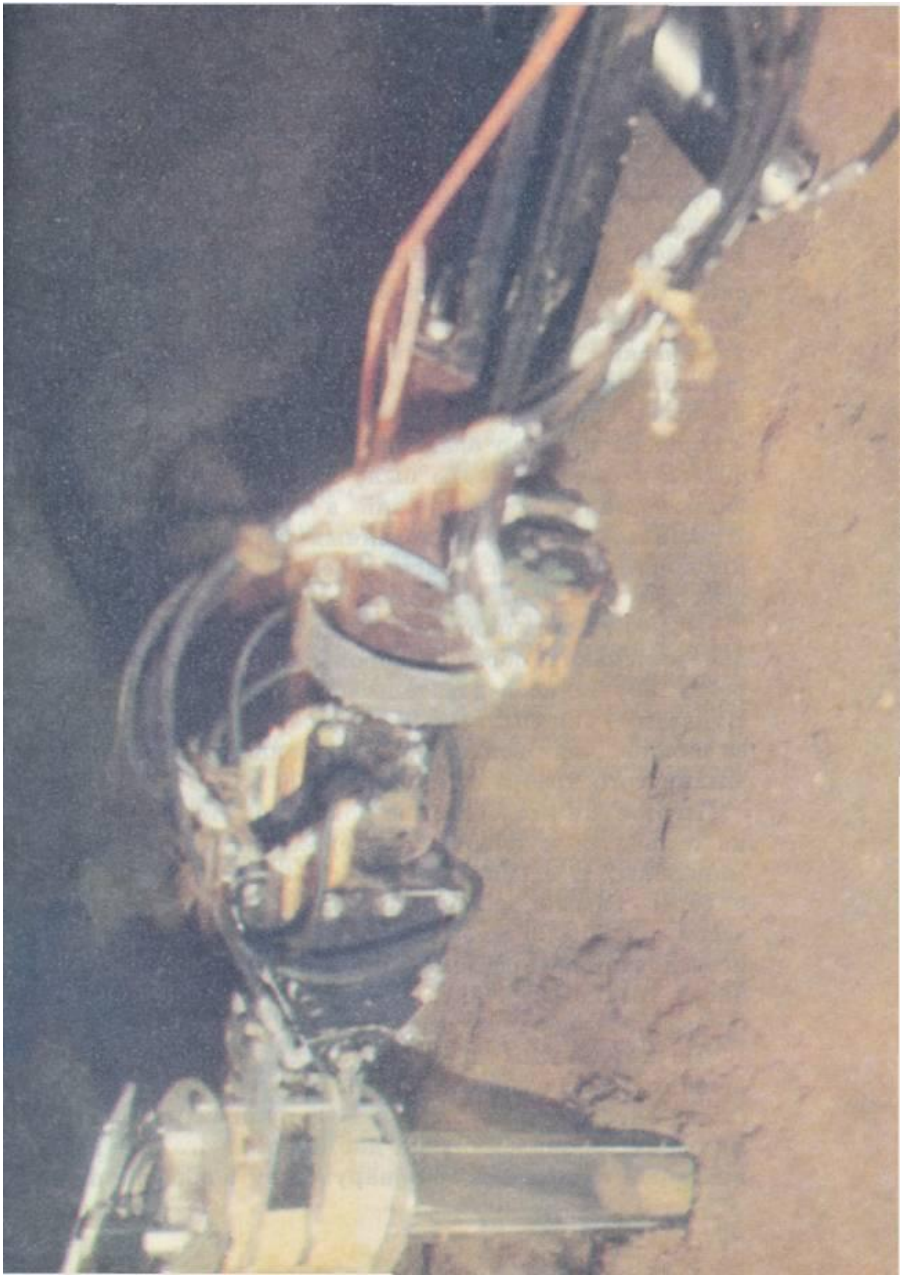
Начался новый этап в исследованиях Мирового океана, в котором классическая океанология связана с физикой и химией реакцией при высоких давлениях и температурах, биологией и биохимией существ, живущих там при высоких температурах.

Фантастика, ставшая действительностью. А. может ли в океане температура воды быть в несколько сотен градусов Цельсия? Например, градусов 450–50 ˚С?

Не правда ли, еще и сейчас этот вопрос звучит странно? А в начале 70–х гг. он казался просто фантастическим.

Само собой разумеется, не вся вода, а лишь небольшая часть ее у дна в отдельных, особых местах. Таких, где есть выход гидротерм. Гидротермами называются разогретые внутренним теплом Земли воды, отличающиеся по своему химическому составу от обычной воды большим содержанием различных солей, или повышенной минерализацией.

Мысль о том, что на дне океана могут быть источники с очень высокой температурой воды, впервые была высказана Т. В. Розановой. К ней отнеслись с недоверием. Но в 1977 г. на дне Тихого океана американская экспедиция обнаружила источники с температурой 17 ˚С, а в 1982 г. — с температурой около 400 ˚С! Выло найдено много неожиданного, в том числе особые сооружения, выросшие на дне благодаря отложению солей. Что-то вроде гигантских сталагмитов, встречающихся в пещерах. Но самым удивительным оказался необычный животный мир, процветающий там без солнца, во мраке. Богатые жизнью придонные области вокруг горячих источников — гидротерм получили название экологических оазисов. Гидротермы и экологические оазисы — одно из открытий науки.



В рифте Таджура в Аденском заливе на глубине 1400 м отбирается образециз осадочного чехла

Гидротермы образуются при взаимодействии горячей магмы и придонной воды. Образование гидротерм — глобальное явление, имеющее большое значение для Мирового океана и для Земли в целом. На дне Красного моря впервые они были обнаружены в 1964 г. Это были впадины, заполненные горячим и

очень соленым рассолом. Содержание солей в нем составляет около 300 г. на литр. Примерно в 10 раз больше, чем в обычной океанской воде. Несколько отличается и химический состав. В красноморских гидротермах содержится больше редких и ценных элементов.

Температура воды в красноморских впадинах была около 64 °С. Установлено, что она там постепенно повышается: примерно на один градус каждый год. Но об источниках на дне с температурой в несколько сотен градусов тогда еще никто не знал.

В 1967 г. в Институте океанологии при исследовании образцов осадков из рифтовых зон океана обнаружили, что осадки в рифтовых долинах значительно отличаются от осадков на дне в окружающем их океане. Они образованы в значительной мере из продуктов дробления скальных горных пород дна под действием тектонических движений: громадные блоки горных пород, двигаясь по разломам, растирают, словно жернова гигантской мельницы, самих себя, а продукты перетирания в виде мелких обломков минералов высыпаются на дно океана, где и образуют необычные осадки, свойственные только тектонически активным разломам.

Кроме того, в осадках рифтов срединно — океанических хребтов были найдены минералы, образовавшиеся здесь же, на месте, под действием каких-то химических реакций. Каких именно — это предстояло выяснить. Возникла догадка — не действуют ли здесь гидротермы — горячие растворы, поднимающиеся из недр океанской коры. Чтобы не ошибиться в выводах, надо было найти хотя бы следы гидротермальных изменений в коренных породах. Нужны были образцы коренных пород, т. е. образцы кристаллических магматических пород, слагающих дно и склоны рифтовых долин.

В 1967 г. были получены и тщательно исследованы два маленьких образца породы (во время второго рейса научно — исследовательского судна «Академик Курчатов» они были подняты прямоточной трубкой со склона рифтовой долины подводного Аравийско-Индийского хребта с глубины 3500 м).

Первое же исследование показало, что оба образца относятся к породам, содержащим сульфидные минералы, т. е. минералы, состоящие из металлов и серы. Самый маленький образец был размером всего 35Х 3ОХ 20 мм. Но, как показали дальнейшие исследования, он состоял из многих минералов, в том числе титаномагентика, ильменита и халькопирита (сульфида меди и железа).

По результатам тщательного исследования, выполненного

Т. В. Розановой и Г. Н. Батуриным, в 1971 г. была опубликована статья «О рудных гидротермальных проявлениях на дне Индийского океана», в которой говорилось об обнаружении в образце продуктов распада твердых растворов железо — титановых минералов. Последнее возможно при температурах 400–500 °С.

Изучение под микроскопом халькопирита показало своеобразный характер зерен. Они образовали решетчатую структуру, так называемые двойники превращения, возникающие при температуре не ниже 550 °С. Значит, рудные минералы образовались в результате наложения нескольких стадий гидротермальных минерализаций на кристаллическую породу. Все это было обнаружено в образце породы, найденном на поверхности дна Индийского океана. Кажется, все ясно. Но делать вывод, что минералы, требующие около 500 °С для своего образования, там и появились, было еще рано. Это противоречило всем канонам. Гидротермы с температурой в несколько сотен градусов еще не были найдены на дне океанов…

В 1976 г. Т. В. Розанова опубликовала вторую научную работу — «О керолите, пирротине и триолите в осадках впадины Хэсса». В ней сообщалось о результатах исследования образца породы из впадины Хэсса, который был найден в океане в 1972 г. во время восьмого рейса научно — исследовательского судна «Дмитрий Менделеев». Начальником этой экспедиции был А. П. Лисицын — глава советской школы морских геологов, занимающихся изучением современного осадкообразования в Мировом океане. Осадки на дне океанов образуются непрерывно, круглые сутки. Если будем знать, что сегодня движется в толще воды вниз, то будем знать, какой осадок образуется на дне завтра. Пробы воды с разных глубин и особые ловушки на дне океана дают много ценной информации об этом.

Впадина Хэсса — загадочное образование на дне Тихого океана в точке с координатами 2°12′ с. ш. и 101°35′ з. д. Эту точку вы можете найти на рельефной карте дна Тихого океана (см. рис. на с. 38). Впадина расположена в осевой зоне подводного Галапагосского хребта вблизи его стыка с Восточно — Тихоокеанским поднятием. В последние годы этот район дна Тихого океана привлекает особое внимание исследователей.

На глубине 5 тыс. м впадина Хэсса имеет длину всего 6,5 миль при ширине около 2 миль. Склоны впадины круто уходят вниз. Она похожа на гигантский каньон со слегка наклонным дном, которое находится на глубинах в пределах' 5200–5376 м. Морские геологи называют впадину изолированной тектонической депрессией. Последнее означает, что она

образована тектоническими силами.

Впадина была найдена в 1970 г. американской экспедицией. А теперь она привлекает внимание геофизиков как центр раздвижения литосферных плит. Образец из впадины был поднят драгой.

Подъем драги — всегда событие в любой экспедиции. А если драга поднимается из такой малоисследованной впадины, как впадина Хэсса, то событие особое. В этот раз на осмотровый стол из драги вывалилась целая тонна донного ила! Но не серого, как обычно, а пестро окрашенного: оттенки зеленого, голубого, красного цветов. Раньше такое в океане не встречалось. Драга принесла богатый улов.

Окружившие стол сотрудники экспедиции быстро разбирают образцы, каждый — по своей специальности. Кое-что отобрала для анализа и Т. В. Розанова. А когда она протирала тряпкой стол, почувствовала какой-то твердый комочек. Осмотрела его — серенький жесткий обломок, залепленный илом. Помыла его под струей воды. Как будто ничего особенного. По всей видимости, обычный фораминиферовый песчаник. Таких было, кажется, много. Хотела бросить за борт. Но — стоп! Почему серый? Решила посмотреть его под микроскопом. Под микроскопом неожиданно засверкали грани кристаллов. Образец оказался очень ценным. Определить его состав в судовой лаборатории не удалось. Только много времени спустя было установлено, что образец относится к редкой ассоциации минералов. Но как он мог образоваться во впадине? Не просто на дне океана, а именно во впадине? Это обстоятельство имело решающее значение. В теоретических построениях Розановой глубокие рифты и впадины в океанской коре уже прочно связались с высокой температурой воды в них. Не во всех, конечно, а только в тех, откуда были взяты образцы пород. После исследования образца из впадины Хэсса она окончательно убедилась в этом.

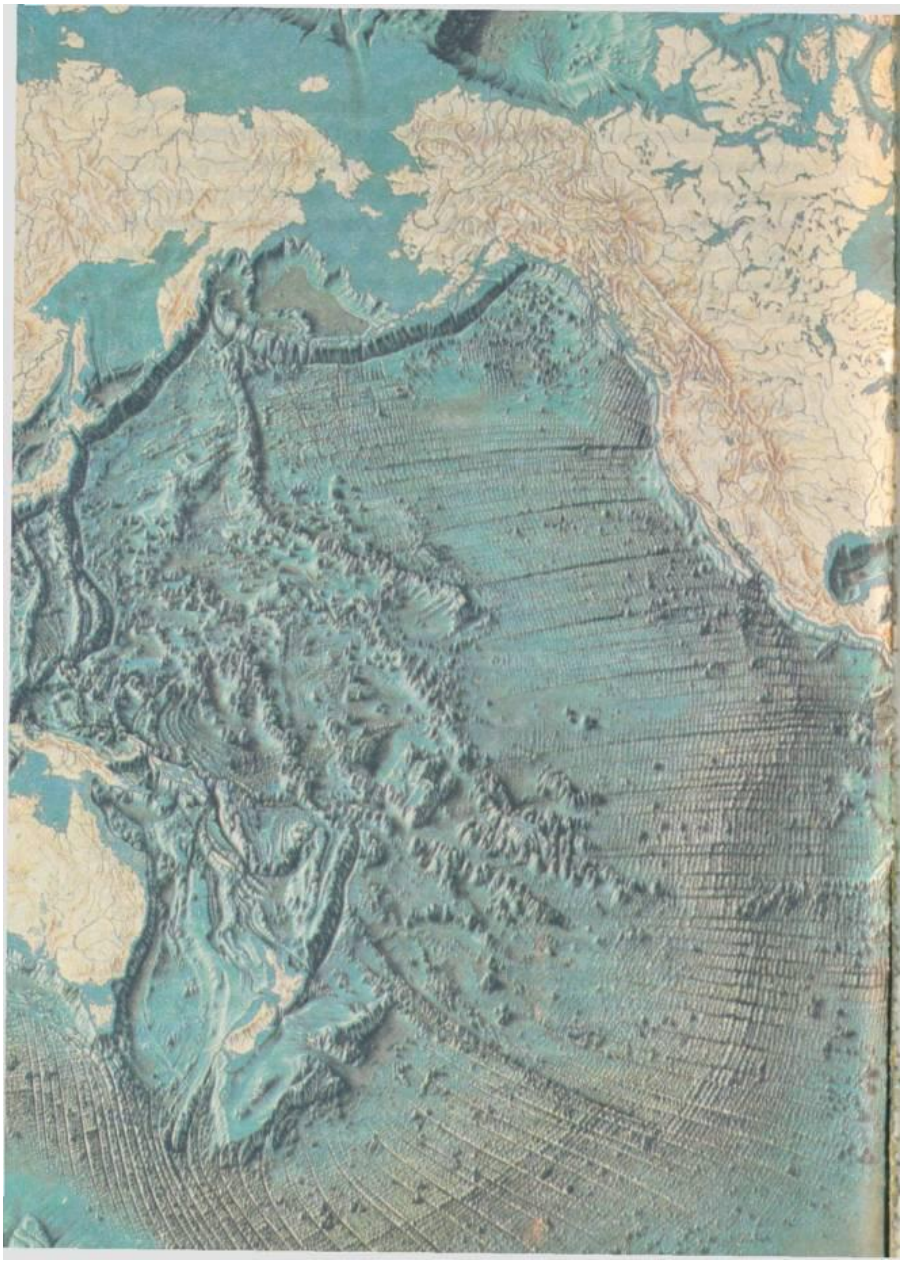
Два японских автора за несколько лет до этого опубликовали научную работу, в которой описали лабораторные опыты по искусственному созданию ассоциации минералов, по своему составу очень похожей на то, что было найдено во впадине Хэсса. Для этого им потребовалась температура от 400 до 600 °С при давлениях от 0,5 до 3 килобар.

Вторая работа Розановой заканчивалась довольно решительным выводом, что изменению подверглись современные геологические образования. А гидротермальные растворы, преобразовавшие этот осадок, поступавшие на поверхность дна океана, имели температуру более 350 °С.

Однако до признания работы было еще далеко. Убеждение в

справедливости доводов советского ученого пришло только после того, как в Тихом океане были действительно обнаружены источники с очень горячей водой, имеющей температуру, близкую к указанной. Горячие гидротермы были открыты с помощью подводного обитаемого аппарата «Алвин». Исследования первоначально были начаты в рифте Срединного атлантического хребта франко — американской экспедицией «Фамоус». Но в этом районе гидротермальная активность оказалась слабой. Поэтому работы были перенесены в Тихий океан. Здесь успех превзошел самые смелые ожидания. Были открыты не только мощные поля гидротерм с разной температурой, но и особые экологические оазисы, населенные невиданными существами.

Подтвердились предположения молодого советского ученого. Пожалуй, это единственное открытие в океанологии, сделанное под геологическим микроскопом.



Рельефная карта дна Тихого океана.

Экологические оазисы. Абиссаль, или абиссальная зона, — глубоководная область Мирового океана: она начинается с 2 тыс. м, самой глубокой ее частью являются желобы (впадины), в них глубины около 7 тыс. м и больше.

Абиссаль — наиболее пустынная область океана. Это не удивительно: туда не доходят лучи Солнца. Ведь один метр прозрачной морской воды ослабляет свет приблизительно так же,

как несколько километров воздуха. В абиссальных глубинах всегда темно, холодно и мало пищи. Отсутствует фотосинтез — основа питания всего живого на Земле. По этим причинам животный мир абиссальной области обычно беден. Так считалось всегда.

Бентос — совокупность организмов, живущих на дне океана. Количество живых организмов на 1 м^2 поверхности дна называется биомассой. Размерность биомассы — г/м^2 или кг/м^2. Среднее значение биомассы бентоса для абиссали обычно менее 0,5 г/м^2. Для наиболее богатых районов — до нескольких граммов на 1 м^2 дна, а для наиболее бедных районов открытого океана — всего 0,02—0,05 г/м^2. Не зря такие районы называют абиссальной пустыней.

Все это было известно давно и сомнений ни у кого не вызывало. Считалось, что раз там нет солнечного света, то нет и фотосинтеза. Следовательно, отсутствует первичная продукция. Немногочисленные донные животные абиссали питаются тем немногим, что опускается им сверху, жалкие остатки пищи, обычно в виде фекалий… Откуда же взяться в абиссали богатой жизни?

Но вот однажды эта точка зрения изменилась. В подводном обитаемом аппарате ученые опустились на дно Тихого океана и увидели там такое удивительное богатство жизни, которое, кажется, не приходило в голову ни одному фантасту. Летом 1985 г. у тихоокеанского побережья Японии работала франко — японская экспедиция: 27 глубоководных погружений совершили ее участники на подводном обитаемом аппарате «Наутилус». Работа велась в зоне субдукции, т. е. там, где одна литосферная плита задвигалась под другую. Наибольшая глубина погружений «Наутилуса» достигала 5960 м. Этот французский аппарат рассчитан на погружение до максимальной глубины 6 тыс. м.

При семи погружениях обнаружены чрезвычайно богатые скопления донных животных. В наиболее интересных районах дно было сплошь покрыто крупными двустворчатыми моллюсками (калиптогенами). Биомасса здесь составляла от 16 до 51 кг/м^2. Это — громадные цифры. Для сравнения: в тропическом мелководье, славящемся обилием жизни, биомасса редко превосходит 20–25 кг/м^2.

Калиптогены относятся к трем новым видам, ранее науке не известным. Два из них обнаружены на глубинах от 3800 до 4020 м в устье подводного каньона, находящегося к востоку от полуострова Кии. При повторном погружении «Наутилуса» на то же место через четверо суток было обнаружено, что вся колония передвинулась за это время на несколько дециметров. Кочующие

в глубинах колонии — это также новость.

Крупные моллюски нового вида найдены на южной и северной частях островного склона Японского желоба и в районе стыка Японского и Курило — Камчатского желобов. Они обитают в этих районах на глубинах от 5130 до 5960 м. Состав сопутствующих им видов беспозвоночных изменялся от места к месту.

Большие скопления гигантских моллюсков на глубинах около 6 км — это самый глубоководный экологический оазис из числа известных сегодня в Мировом океане. Кстати, температура воды в нем — около 0,6 °С. Оазис этот вызывает удивление своими моллюсками. Не должны они там быть! На глубинах более 5 тыс. м твердые соединения кальция, из которых состоят ракарины, растворяются в морской воде. Как моллюски сохраняют свои раковины на глубинах около 6 тыс. м?

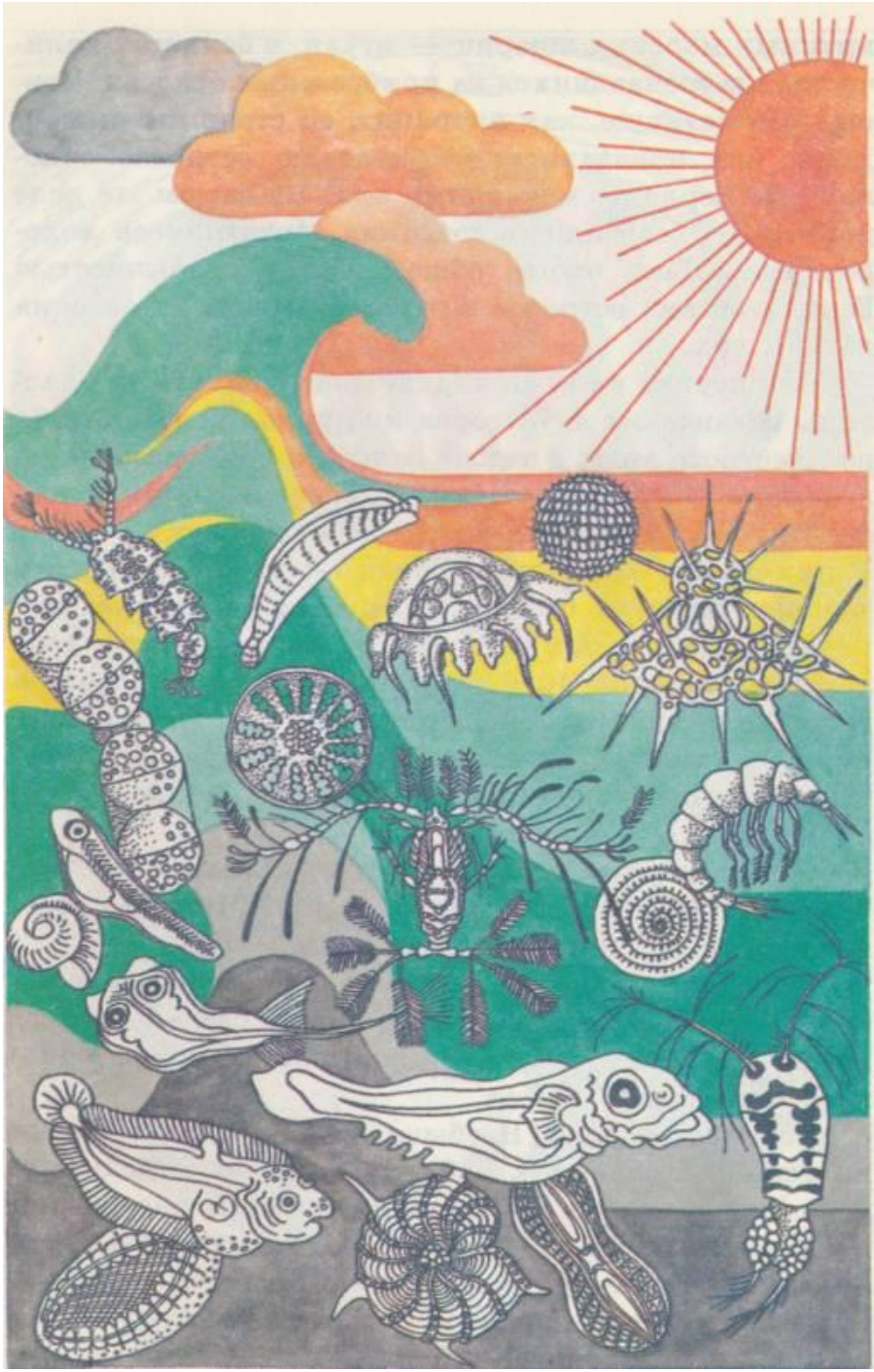
Есть и другие секреты. Например, опустили однажды ученые на дно на глубину около 9600 м приманку (дохлую рыбу), а рядом с ней поставили подводный фотоаппарат. И стали последовательно, кадр за кадром, фотографировать тех, кто явился на угощение. Сначала приплыли разные рыбы, потом собрались рачки. А через 12 ч от большой рыбы остался только скелет. Спрашивается: как смогли рыбы, приплывшие первыми, так быстро получить информацию? Ведь коэффициент диффузии многих ионов в морской воде имеет порядок всего 10^{-10} м^2/с. Каков механизм передачи информации о наличии пищи?

Ультрабиссальные области океана — это глубоководные желобы. Они еще мало исследованы. Занимают всего 0,5 % от площади Мирового океана. Но заслуживают самого большого внимания. Некоторые ученые считают их горячими точками планеты. В них — особая, неземная жизнь. Их трудно исследовать, поэтому на таких глубинах мало зондирований, всего несколько десятков. Неведомый мир ждет своих исследователей.

Первый экологический оазис был открыт американскими учеными в 1977 г. Они нашли его, опустившись на дно в подводном обитаемом аппарате «Алвин». Он назван так по имени главного конструктора Алвина Вайна. Предварительно была получена важная информация с помощью подводного необитаемого аппарата «Ангус». С помощью вспомогательного судна «Ангус» долго буксировался в воде над дном океана в районе исследований. С него во время буксировки автоматически производилась киносъемка поверхности дна. После проявления отснятой пленки на некоторых кадрах были замечены белые пятна, напоминающие раковины. Тогда-то и было решено

опуститься туда на «Алвине». Результаты этого погружения превзошли самые смелые ожидания. Был открыт новый сказочный мир, процветающий во мраке.

Описанные события произошли в 1977 г. в Тихом океане на расстоянии 280 км к северо — востоку от Галапагосских островов. Здесь на глубинах 2500–2700 м находится рифт (трещина) между литосферными плитами Кокос на севере и Наска на юге. Этот рифт называется Галапагосским. Над ним происходило погружение «Алвина».



Не зря зовут Галапагосские острова зачарованными. Под тропическим солнцем на них живут рядом пингвины, тюлени и морские львы. И еще такие животные, которых нигде больше нет.

Взять хотя бы крупных морских ящериц — игуан, в больших количествах встречающихся на прибрежных откосах. Черные и блестящие, как антрацит, со страшными мордами, они показались открывателю островов епископу Де — Берланге исчадиями ада. На самом же деле игуаны — безобидные создания, питающиеся водорослями… Есть что-то общее между необычностью Галапагосских островов и открытиями на дне океана вблизи них.

На рисунке на с. 45 видны многочисленные раковины гигантских двустворок и крупная розовая рыба неизвестного вида, а также белый краб. А дальше — красивые большие стебли, слегка напоминающие флагштоки. Их высота достигает нескольких метров. В них живут громадные черви — вестиментиферы, которых оценили пилоты подводных обитаемых аппаратов. Дело в том, что эти черви живут при температуре не выше 40 °С. Если они на дне есть, можно вести свой аппарат спокойно. Если же вестиментиферы пропали — берегись! Это может означать повышение температуры воды до пределов, опасных для аппарата и его экипажа.

Удивляет яркая окраска многих животных. Зачем она им нужна в полном мраке? Что там абсолютный мрак, никто не сомневался.

Открытие экологических оазисов вызвало множество разных вопросов. Верны ли теперь сведения о бедности животного населения океанского дна на больших глубинах?

Конечно, верны. Необычайное богатство жизни на больших глубинах найдено лишь на отдельных, небольших по своим размерам участках дна океана в районах действия гидротерм. А там, где их нет, по-прежнему простирается абиссальная пустыня.

Именно поэтому богатые жизнью участки в поле гидротерм называют экологическими оазисами. Этот термин хорошо показывает истинное положение дел. Гидротермы выполняют роль родников в оазисах обычных песчаных пустынь на поверхности Земли. Но сравнение это, конечно, не совсем точно.

Продолжение исследований с помощью «Ангуса» и «Алвина» в Тихом океане привело к еще более удивительным открытиям.

«Ангус» — подводный необитаемый аппарат (без экипажа) предназначен для автоматического фотографирования дна. Он буксируется надводным судном в толще воды океана на высоте примерно 18 м над дном. Имеет мощные источники света. С одной зарядки может сделать около 3 тыс. цветных фотографий. В ноябре 1979 г. при обследовании Калифорнийского залива на отснятой пленке были обнаружены клубы черного дыма вблизи дна. По фотографиям нельзя было определить, откуда идет дым. В этот район был вызван «Алвин». Первый же спуск принес успех. Исследователи установили, что черный дым оказался клубами черной воды. Громадные фонтаны черной воды били из труб разной высоты, некоторые в несколько метров.

Надо было измерить температуру черной воды. «Алвин» бросало вправо и влево струями мощного придонного течения. Тем не менее пилоту удалось подвести аппарат к одной из труб и с помощью манипулятора ввести датчик электрического термометра прямо в ее горловину (диаметром около 15 см), откуда бил черный фонтан.

Термометр «Алвина» показал 350 °С. В соседних черных фонтанах температура воды тоже была не ниже 350 °С.

Изучение гидротерм, оказавшихся столь горячими, опасно. Малейшая неосторожность грозит гибелью экипажу. Подводный обитаемый аппарат «Алвин», как и некоторые другие аппараты такого типа, имеет иллюминаторы из органического стекла. Оно размягчается при температуре выше 85 °С! Нельзя забывать и о высоком давлении воды у дна, близком к 300 атм. Чтобы не попасть в беду, пилоты подводных аппаратов не подходят вплотную к горячим струям. Температуру воды измеряют с помощью электрического термометра, вынесенного вперед манипулятором.

Трубы на дне, извергающие фонтаны черной воды, получили название «черных курильщиков». Позже были обнаружены трубы, из которых бьют фонтаны белой воды. Их назвали «белыми курильщиками». Изменение окраски океанской воды вызвано особыми химическими реакциями, происходящими между гидротермами и океанской водой.

А в 1982 г. американские ученые Дж. Бэррос и Дж. Деминг

опустились в «Алвине» на глубину 2650 м в Тихом океане, в районе Галапагосского рифта, и взяли пробу воды из горячего источника на дне с температурой выше 300 ˚С с помощью особого прибора — пробоотборника, обеспечивающего сохранение температуры воды не ниже 250 ˚С. Результаты исследования превзошли самые смелые ожидания: в воде пробы оказалось много живых бактерий нового, неизвестного ранее вида.

Фантастические свойства этих бактерий потрясли ученых. Жизнь при адской температуре, без света, под громадным давлением кажется совершенно немыслимой с нашей точки зрения. А они живут и размножаются! Попытка в лаборатории снизить температуру воды с бактериями ниже 90 ˚С привела к прекращению их размножения. Им стало слишком холодно. Согласно другому сообщению, снижение температуры воды ниже 100 ˚С привело к полной гибели бактерий. Этот вид бактерий часто называют термофильными. Известны они также под названием археобактерий. 250 ˚С оказались для них достаточно комфортной температурой. При этой температуре, согласно сообщениям печати, бактерии живут и размножаются в лаборатории. Чтобы обеспечить им необходимые условия, в качестве жилища был использован сосуд, похожий на кастрюлю — скороварку с прочной герметичной крышкой. В таком сосуде легко поднять температуру воды до необходимой величины при одновременном увеличении давления.

Как эти бактерии живут при столь высокой температуре? Чем объяснить такую высокую устойчивость термофильных бактерий к высокой температуре? Ведь даже бумага обугливается при температуре выше 2 30 ˚С. А в струях гидротерм температура значительно выше, местами — почти вдвое! По своему химическому составу они, как сообщается, имеют необычайно высокое содержание двух аминокислот — глицина и серина. Но эти аминокислоты не отличаются особой термостойкостью.

У обычных бактерий при сколько-нибудь значительном повышении температуры происходит свертывание белков и наступает смерть. Видимо, решает вопрос не столько химический состав, сколько особенности строения. У термофильных бактерий более прочная конструкция молекул, устойчивая к высокой температуре.

Свертывание белков, или коагуляцию их, вы можете видеть, когда готовите яичницу. Повышение температуры в пределах 60 ˚С приводит к разложению белков, распаду цепочки ДНК, слиянию ферментов, деформации клеточных мембран. Для любого живого существа эти процессы означают смерть. Почему же они не происходят у термофильных бактерий?

Исследования под электронным микроскопом показали более прочную конструкцию молекул тела этих бактерий. Цепочка липидов у них имеет особое ветвистое строение, что увеличивает крепость их связи с мембранами. Витки спирали ДНК у них имеют больше точек крепления к мембране, как у микробов, устойчивых к радиации. Конструкция белковой молекулы более жесткая. Возможно, по этой причине деформации, возникающие при высокой температуре, не превосходят опасных пределов.

Со времени Пастера известно, что прокипяченная бактерия — это погибшая бактерия. А чтобы уничтожить этих, новых, их надо, наоборот, охлаждать!

Еще много загадок в строении белковых молекул живых существ. Расшифровка строения белковых тел — весьма сложная проблема. Изучение строения различных белков — передний край биологической науки. Термофильные бактерии — интереснейший объект для исследований. А если бы удалось скрестить их с другими живыми существами, сохранив у гибридов высокую термическую устойчивость, то могли бы открыться перспективы поистине фантастические. То, что делается сегодня в генной инженерии, уже мало чем отличается от фантастики. Ведь скрестили же ученые клетку комара с клеткой человека и клетку человеческой опухоли с клеткой моркови!

В гидротермах найдено два типа теплолюбивых бактерий. Оба они относятся к археобактериям. Окаменелые останки этих бактерий были раньше обнаружены в геологических отложениях, возраст которых около 3,8 млрд. лет. Никто и не предполагал, что в наши дни могут быть найдены их живые родственники. Возникла гипотеза, что археобактерии — предки всех живых существ на Земле. Впрочем, некоторые ученые думают, что они и не бактерии вовсе.

Так или иначе, но микробиологи давно отметили, что микроорганизмы обычно более жизнеспособны, чем растения и животные. Они могут существовать при экстремальных условиях, когда ни животные, ни растения не выживут.

Население удивительного мира, открытого в поле горячих гидротерм, не ограничивается бактериями и червями. Оказалось, что там живут и другие, значительно более высокоорганизованные существа. Сообщается об открытии 35 новых видов. Целый новый мир невиданных ранее животных. Некоторые сообщения звучат столь фантастично, что не все ученые им доверяют.

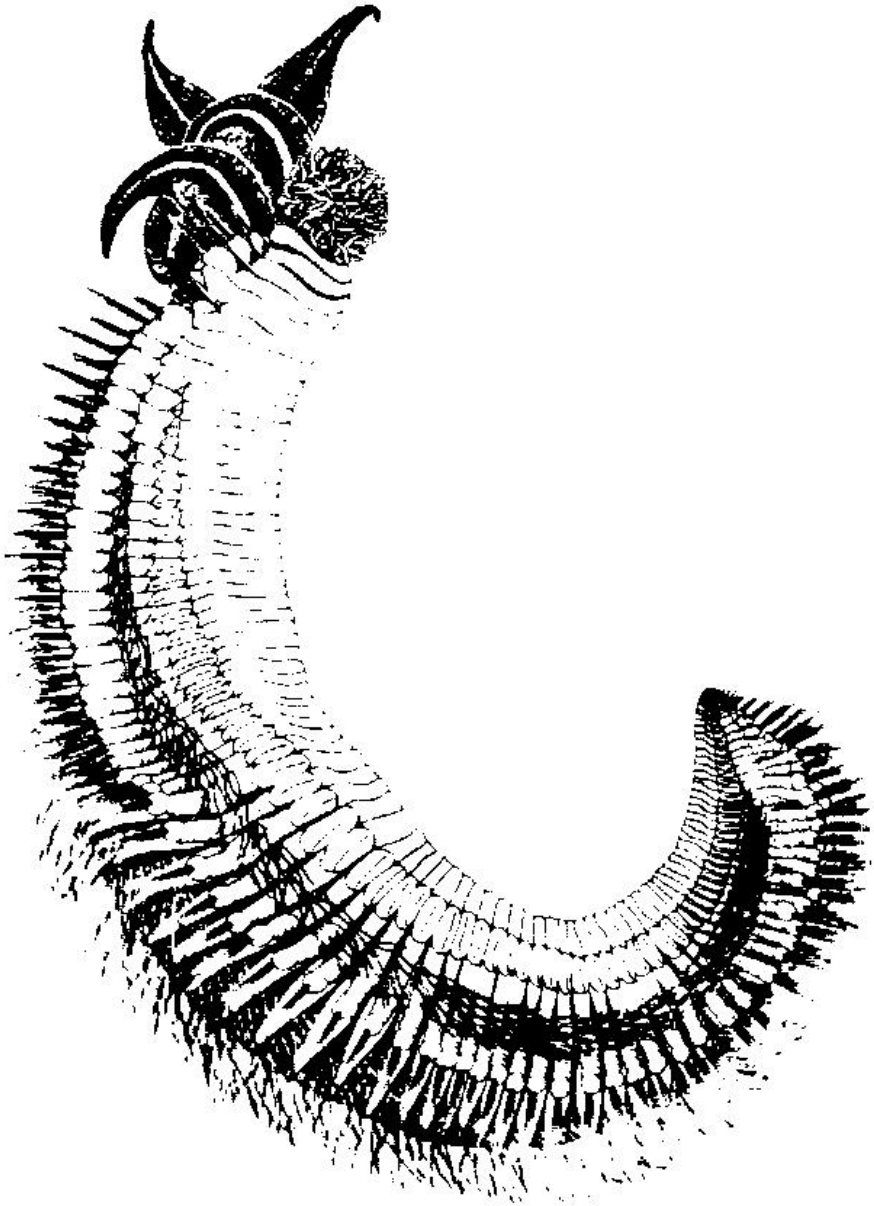
Ограничимся ссылкой лишь на одну работу. В 1980 г. американские ученые сообщили об открытии в поле гидротерм нового многощетинчатого червя Alvinella pompejana (Альвинелла

помпейяна). Червь имеет длину до 10 см. Толщина его примерно с мизинец взрослого человека. Он обнаружен в поле гидротерм на дне Тихого океана в точке с координатами 21° с. ш., 11°13′ з. д. Живет этот червь в нижней части труб «черных» и «белых курильщиков» с наружной стороны, вблизи основания. Трубы в этом районе достигают высоты 17 м. Температура в месте обитания червя — около 260 °С!

Свое название многощетинчатый червь получил в честь Алвина Вайна — главного конструктора подводного обитаемого аппарата «Алвин», с помощью которого он был найден. Точнее — вытащен манипулятором вместе с куском породы из основания высокого «курильщика».

Живет этот червь в стрессовом окружении: перегретая вода, насыщенная ядами, высокое давление — около 300 атм, отсутствие света и фотосинтеза. А он живет. Как это может быть? Если все сказанное подтвердится в будущем другими исследователями, то таким животным, может быть, и на Венере окажется в самый раз?

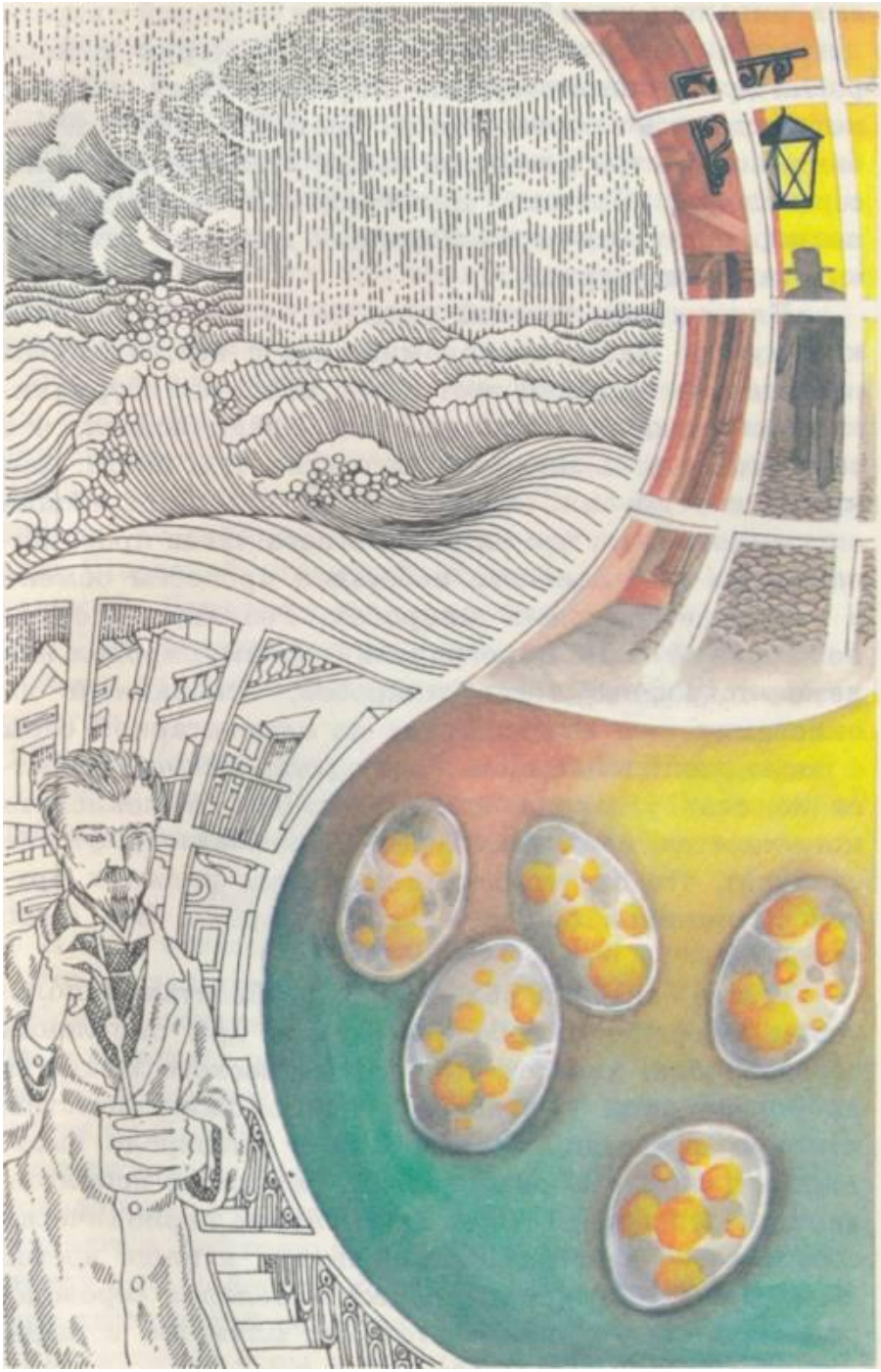
На рисунке на с. 51 приведен общий вид многощетинчатого червя Alvinella pompejana. Несмотря на свои относительно малые размеры, червь этот — одна из самых больших загадок океана. Откуда все эти многочисленные животные на дне в поле гидротерм берут пищу? Как они питаются? Биомасса бентоса там иногда превосходит среднюю цифру почти в тысячу раз. Чем же они живут?



Общий вид неизвестного ранее многощетинчатого червя Alvinella pompejana, открытого в экологическом оазисе.

Ответ оказался неожиданным. Все многочисленное население экологических оазисов в темных глубинах живет за счет бактерий. Они образуют органическое вещество с помощью химического синтеза (хемосинтеза). Этим органическим веществом питаются все многочисленные животные в полях гидротерм. Установление факта, что хемосинтез бактерий может поддерживать мощные экологические системы в глубине океана в темноте — одно из

самых больших биологических открытий в океане. Бактерии выполняют роль первого звена пищевой цепочки в экологических оазисах. Ими питаются животные, образующие следующие звенья. Бактерии питаются сероводородом и другими неорганическими веществами, имеющимися в больших количествах в гидротермах. Они живут за счет хемосинтеза. Этот синтез происходит без лучей света. Он был открыт 100 лет назад в лаборатории русским ученым Сергеем Николаевичем Виноградским.



Что такое хемосинтез? 1887 г. Страсбург. Лаборатория немецкого ученого Генриха Антона де Бари.

Молодой русский ученый С. Н. Виноградский после окончания естественного отделения Петербургского университета

приехал в Страсбург на стажировку в лабораторию де Бари, известного немецкого ботаника, специалиста по водорослям и грибам.

В качестве научной темы ему предложили заниматься не водорослями и не грибами, а серными бактериями. Бактерии тогда были в центре внимания научной общественности в связи с дискуссией вокруг учения о полиморфизме. Учение это имело многочисленных сторонников. Суть его заключалась в том, что микробы якобы не подчиняются закону постоянства формы. Полиморфисты думали, будто бы самые различные по форме и физиологическому действию микробы могут взаимно переходить друг в друга…

Тщательные опыты Виноградского на водных серобактериях показали ложность этого учения. Но одновременно с опровержением полиморфизма он сделал важное открытие, имеющее прямое отношение к океану.

Однажды С. Н. Виноградский увидел в клетках бактерий кристаллики серы. Под микроскопом про — сматривались нити больших серных бактерий с вкрапленными в них частичками серы. Бактерии хорошо росли при полном отсутствии органических веществ, но нуждались в сероводороде. Частички серы в телах бактерий быстро исчезали, когда в сосуде кончался сероводород. Поэтому Виноградский периодически подкармливал их сероводородной водой из источника в местном парке.

«Для чего им столько серы?!» — удивленно воскликнул де Бари, познакомившись с неожиданным наблюдением. Вопрос этот долго волновал сотрудников лаборатории. Виноградский предположил, что сера играет роль запасного вещества, т. е. пищи. Как крахмал у других, обычных бактерий. Дальнейшие опыты показали, что он прав. Много часов просиживал он за микроскопом, наблюдая процессы обмена в этих удивительных микробах. Результаты своих наблюдений С. Н. Виноградский сформулировал как хемоавтотрофный рост микробов, основанный на окислении ими сероводорода до элементарной серы с последующим образованием органического вещества за счет углерода из углекислоты. Углекислота поглощается из воды. Термин «хемоавтотрофный» означает, что бактериям не требуется никаких других источников органического углерода. Это было открытие.

Серные бактерии обладают способностью использовать энергию, освобождающуюся при окислении сероводорода, для создания органического вещества из углекислоты и водорода. Давно было известно, что при сгорании сероводорода в кислороде выделяется довольно много энергии. Вопрос об использовании

сероводорода в качестве топлива периодически обсуждается на страницах печати и в наше время. Но в серных бактериях процесс окисления сероводорода происходит, разумеется, без пламени, а выделяющаяся энергия расходуется на разложение углекислоты и образование органического вещества. В этом заключается уникальная способность серобактерий, открытая молодым русским ученым.

В 1887 г. Виноградский опубликовал научную работу, где написал: «Органическое вещество на земном шаре образуется при жизнедеятельности живых существ не только в процессе фотосинтеза, но и в процессе хемосинтеза…»

Это удивительное открытие принесло заслуженную славу его автору, который был избран членом-корреспондентом Петербургской Академии наук, а с 1923 г. он почетный член АН СССР. С. Н. Виноградский также состоял членом Французской академии наук, Шведской сельскохозяйственной и Туринской академий, Лондонского Королевского общества. Работы С. Н. Виноградского получили широкую известность, он считается основателем современной микробиологии.

Серные бактерии — аэробы. Для своей жизнедеятельности они нуждаются в кислороде. Окисление сероводорода ими идет по уравнению:

$2H_2S + 0_2 = 2S + 2H_20 + \Delta G$, где ΔG — энергия, выделяющаяся при этом процессе. Это — экзотермическая реакция.

Может показаться странным, что в результате окислительной реакции образуется элементарная сера. Но вспомним школьное правило: окислитель — грабитель! Именно это и происходит — у отрицательно заряженного иона серы, входящего в молекулу сероводорода, отнимаются электроны. В результате получаются нейтральные атомы элементной серы; поэтому речь действительно идет об окислении. Уравнение химической реакции объясняет причину появления частичек серы в клетках серобактерий, но не описывает механизма создания органического вещества. Образование серы — лишь один из этапов в сложной цепи биохимических реакций, происходящих в этих бактериях. Они очень сложны. В упрощенной форме их можно схематически описать уравнением

$4H_2S + 0_2 + C0_2 = CH_20 + 4S + 3H_20,$

где CH_20 — простейшее органическое соединение углерода. Это — формальдегид. Его водный раствор известен под

названием формалина. Формальдегид — важное сырье для изготовления пластических масс. Его изготавливают в больших количествах на химических заводах из угля и углекислоты.

Сероводорода и других сульфидных соединений в океанской воде в районах действия гидротерм сколько угодно. Поэтому с пищей для бактерий нет никаких проблем.

Сера — обязательный элемент живых организмов. По данным академика А. П. Виноградова, среднее содержание ее в организмах составляет только 0,05 %. Однако она играет большую роль в жизненных процессах.

В полях гидротерм на дне обнаружена целая группа хемосинтезирующих бактерий из нескольких видов. Они получили общее название — тионовых бактерий. Тионовые бактерии серу и ее соединения сделали своей пищей. Но обычно всем животным нужно не только питание, но и дыхание. Дышат они кислородом, как и мы с вами. Однако в экологических оазисах много и таких бактерий, которым кислород не нужен, — это анаэробы.

Открытие экологических оазисов на основе хемосинтеза в Тихом океане относится к числу самых удивительных открытий в Мировом океане за последнее десятилетие. Ученые не предполагали, что хемосинтез имеет такое большое значение и способен поддерживать жизнь больших экологических систем.

Тионовые бактерии могут питаться не только сероводородом, но и другими химическими соединениями. Кроме бактерий тионовой группы в экологических оазисах имеется много других микроорганизмов, которые питаются водородом, соединениями аммония, двуокисью азота и, возможно, даже ионами железа и марганца (см. табл. на с. 59).

Американский морской микробиолог Холгер Джаннаш относит сероокисляющих хемолитотрофных бактерий к числу наиболее распространенных в Мировом океане. В четырех первых строках таблицы представлены окисляемые ими сера и ее соединения. Среди сероокисляющих микроорганизмов в экологических оазисах найдены и те, с которыми работал С. Н. Виноградский. Больших бактерий Beggiato там местами так много, что они образуют у дна толстые белые слои. Подобные слои наблюдались, например, в районе Гуаймас. Там обнаружены гигантские бактерии этого вида размером до 100 мк. Но имеется и множество других.

В ходе осуществляемых этими и многочисленными другими морскими бактериями химических реакций выделяется много энергии, заменяющей в глубинах энергию лучей Солнца. В результате химического синтеза образуется органическое

вещество.

Таблица интересна широким ассортиментом неорганических веществ, используемых бактериями для своего питания. Потребляя различные неорганические вещества, в изобилии имеющиеся в гидротермах, микроорганизмы производят многочисленные органические соединения, из которых строятся их тела. Ими питаются все животные экологических оазисов, сами не обладающие чудесным даром хи — мического синтеза. Некоторые из наиболее «находчивых» донных животных, как, например, черви вестиментиферы, культивируют хемосинтезирующих микробов в своих трубчатых жилищах. А чтобы бактериям жилось там лучше, периодическими сокращениями своих тел прокачивают порции свежей воды. Оригинальный микробиологический животноводческий комплекс в глубинах! Вместо коров — черви, а вместо травы — бактерии.

На дне вокруг гидротерм обнаружены в больших количествах отложения окислов марганца и железа. Предполагается, что они являются результатом жизнедеятельности особых бактерий. В этих отложениях были найдены большие бактерии, похожие на известную на суше цианобактерию. Реакции окисления железа и марганца приведены в восьмой и девятой строках таблицы. Возможно, что железо- и марганцово- окисляющие бактерии вносят свой вклад в хемосинтез. Однако, «кушают» ли они в действительности железо и марганец, экспериментально проверить пока не удалось из-за больших трудностей культивирования их в лаборатории.

В микробиологии гидротерм очень много разных загадок.

Интерес представляют высокие цифры свободной энергии, выделяющейся при различных химических реакциях, используемых микроорганизмами. По количеству энергии, приходящейся на один моль окисляемого вещества, на первом месте стоит реакция окисления отрицательного иона тиосульфата $S_2O_3^{2-}$. При этой реакции выделяется 936 кДж/моль. На первый взгляд эта большая цифра представляется заманчивой для использования в технике. Однако если пересчитать выделяемую в этом случае свободную энергию на единицу массы тиосульфата, то удельная теплота сгорания окажется всего 3500 ккал/кг.

Таблица

Основные виды микроорганизмов, обнаруженные в экологических оазисах Тихого океана (данные на 1984 г.)

Микроорганизмы	Их пища	Чем они дышат, т. е.	Химические реакции	Выделение

		окислитель		свободной энергии, кДж/моль
1.	Сероокисляющие бактерии	S^0	O_2	$S^\circ + 1{,}5O_2 + H_2O = H_2SO_4$ 496
2.		H_2S		$H_2S + 0{,}5O_2 = S^0 + H_2O$ 210
3.		$S_2O_3^{2-}$		$S_2O_3^{2-} + 2O_2 + H_2O = 2SO_4^{2-} + 2H^+$ 936
4.		HS^-		$HS^- + 2O_2 = SO_4^{2-} + H^+$ 716
5.	Водородоокисляющие бактерии	H_2		$H_2 + 0{,}5O_2 = H_2O$ 237
6.	Нитрифицирующие бактерии	NH_4^+		$NH_4^+ + 1{,}5O_2 = NO_2^- + H_2O + 2H^+$ 272
7.		NO_2^-		$NO_2^- + 0{,}5O_2 = NO_3^-$ 73
8.	Железоокисляющие бактерии	Fe^{2+}		$2Fe^{2+} + 2H^+ + 0{,}5O_2 = 2Fe^{3+} + H_2O$ 47
9.	Марганцокисляющие бактерии	Mn^{2+}		$Mn^{2+} + H_2O + 0{,}5O_2 = MnO_2 + 2H^+$ 67
10.	Метанообразующие бактерии	H_2	CO_2	$4H_2 + CO_2 = CH_4 + 2H_2O$ 35

Это значительно ниже количества выделения энергии на единицу массы при других реакциях, используемых бактериями.

Некоторые исследователи связывают размножение различных

микробов на поверхности Земли с солнечной активностью. Они соотносят эпидемии и пандемии с количеством пятен на Солнце. Физический механизм этой связи пока не установлен, но сама она сомнений не вызывает и рассматривается как одно из положений космической биологии. Микробное население экологических оазисов океана представляет интересную возможность для дальнейшего исследования этого важного вопроса. В темную глубину океана, где находятся экологические оазисы, электромагнитные излучения Солнца не доходят. Оазисы надежно заэкранированы от них слоем соленой воды в 2500 м толщиной. Спрашивается: будет ли изменяться численность различных микробов там при колебаниях солнечной активности?

Недавно президент Академии наук СССР академик Г. И. Марчук отметил актуальность изучения солнечно — земных связей. Наблюдения за поведением микроорганизмов в экологических оазисах позволят подойти к исследованию этого вопроса с новой стороны. Этот вопрос впервые поднял известный советский ученый А. Л. Чижевский. Но он до сих пор мало исследован.

Подводная энергетика. На первом месте по величине удельной теплоты окисления в реакциях бактерий стоит водород. Его удельная теплотворная способность равна 28000 ккал на 1 кг (при 237 Мдж*моль$^{-1}$). Водород — первый и самый теплотворный химический элемент из всей таблицы Менделеева. Не зря питание водородом освоили микроорганизмы. Водородоокисляющие бактерии успешно используют эту реакцию давным — давно, с тех пор, как появились в океане.

Содержание растворенного водорода в Мировом океане без учета его количества в водах гидротерм составляет в среднем всего около $10{\sim}^{6}$ мл/л океанской воды при нормальных условиях. Но объем вод Мирового океана очень велик — около $1{,}33{\cdot}10^{18}$ м^3, или $1{,}33{\cdot}10^{2'}$ л. Поэтому объем растворенного водорода определяется большой цифрой:

$$1{,}33{\cdot}10^{21} \text{ л} \cdot 10^{-5} \text{ мл/л} = 1{,}33{\cdot}10^{16} \text{ мл} = 1{,}33{\cdot}10^{13} \text{ л}.$$

Плотность водорода при нормальных условиях, т. е. при 0° и давлении 1 атм, равна 0,0899 г/л. Средняя плотность водорода, растворенного в воде Мирового океана, вычисляемая по формуле Менделеева — Клайперона, составляет 16,7 г/л (при расчете плотности среднее гидростатическое давление было принято равным 186 атм, а средняя температура вод Мирового океана равна 276,8°К).

Полная масса водорода, растворенного в водах Мирового

океана, без вод гидротерм определяется произведением:

$1{,}33 \cdot 10^{13}$ л • 16,7 г/л = $22{,}2 \cdot 10^{13}$ г = $22{,}2 \cdot 10^{10}$ кг = $2{,}2 \cdot 10^{8}$ т.

Значительно больше растворенного водорода содержится в гидротермах близ океанского дна. Концентрация водорода в гидротермах, по некоторым данным, достигает 3 мл/л, почти в 300 000 раз больше среднего содержания в водах Мирового океана. Примем, что объем воды всех гидротерм, вместе взятых, составляет 0,1 % от полного объема вод Мирового океана, т. е. $1{,}33 \cdot 10^{18}$ л. При этом условии в гидротермах будет находиться водород в количестве:

$1{,}33 \cdot 10^{18}$ л • 3 мл/л = $4 \cdot 10^{18}$ мл = $4 \cdot 10^{15}$ л

Определить полную массу водорода, растворенного в гидротермах, труднее, так как точно пока неизвестна средняя их температура, так же как и среднее значение гидростатического давления. Поэтому условно примем, что средняя плотность водорода в гидротермах составляет те же 16,7 г/л. Тогда полная масса растворенного в них водорода составит:

$4 \cdot 10^{15}$ л • 16,7 г/л = $67 \cdot 10^{15}$ г = $6{,}7 \cdot 10^{13}$ кг = $6{,}7 \cdot 10^{10}$ т, т. е. более 60 млрд. т

Это — громадная цифра. Она свидетельствует, что гидротермы — богатый источник водорода, который к тому же непрерывно пополняется. Вместе со струями гидротерм в океан непрерывно поступают новые порции растворенного водорода. Это — практически неиссякаемый источник отличного топлива. Необходимо научиться извлекать его оттуда на пользу народного хозяйства.

Подсчет имеет весьма приближенный характер. Сегодня еще нет точных данных о полном объеме гидротермальных вод в Мировом океане, их средней температуре и средней концентрации водорода в них. Однако при любой возможной ошибке в подсчете (даже в 10 раз!) оказывается, что водород представляет собой мощный источник энергии.

Использование энергии растворенного водорода может быть очень полезно для различных целей. Например, для добычи ценных подводных руд, для их поиска в глубоководных районах океана, для повышения биологической продуктивности океана с помощью искусственного апвеллинга и многих других целей. В том числе для пополнения ограниченных запасов энергии на

подводных обитаемых аппаратах (ПОА), применяемых для изучения наиболее глубоководных районов Мирового океана.

Одним из главных ограничений в радиусе действия ПОА является недостаточный запас энергии в электрических аккумуляторах ПОА. Извлекая растворенный водород из гидротерм на месте выполнения работ, ПОА смогут значительно увеличить свои энергетические ресурсы. И не только их.

Избыток энергии на борту ПОА позволит существенно улучшить автономность аппаратов по запасам кислорода и условиям обитания экипажа. Для решения всех этих вопросов необходима новая техника, достойная приближающегося XXI в.

Чтобы извлечь из океанской воды растворенный в ней газ, ее придется прокачивать через деаэратор. Так называется особый прибор для извлечения растворенных газов из воды. Впервые с необходимостью создания такого прибора столкнулся французский ученый Жорж Клод в своих экспериментах над теплоэнергетической установкой открытого цикла. Это было в первой трети заканчивающегося столетия. Тогда ему не удалось решить эту задачу.

В последние годы в этом направлении работают американские ученые в связи с разработкой той же открытой системы преобразования тепловой энергии океана. В их задачу входит удаление из воды всех растворенных газов. В нашем случае задача осложняется тем, что требуется освоить выделение из воды водорода и отдельно от него кислорода. Последний необходим для сжигания топлива и дыхания экипажа.

Кислорода в водах Мирового океана растворено в среднем значительно больше, чем водорода. Но есть еще и другие газы, в том числе много углекислоты. Чтобы смогла успешно развиваться подводная энергетика, необходимо создать такие деаэраторы, которые обеспечат раздельное выделение различных газов из воды.

Человечество еще только подходит к широкому применению водорода на Земле. Бактерии нас явно опередили. Многие ученые считают: водород — топливо будущего. Для такого суждения имеются достаточно веские основания.

Кроме высокой энергоемкости, т. е. высокой теплотворной способности, применение водорода в качестве топлива обеспечивает экологическую чистоту окружающей среды. В цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, работающих на водороде, процесс горения идет по тому же уравнению, что и в теле бактерии. Поэтому вместо ядовитых выхлопных газов образуются пары воды, не загрязняющие атмосферу.

Сообщалось, что из-за высокой температуры вспышки в

цилиндрах водородных двигателей внутреннего сгорания все-таки образуются еще некоторые побочные вещества типа окислов азота. Но они практически не образуются при работе на водороде двигателей внешнего сгорания. Речь идет о двигателе Стирлинга.

Он был изобретен шотландцем Робертом Стирлингом в 1816 г. Но широкого распространения не получил из-за низкого коэффициента полезного действия (кпд) — всего около 3 %. В наше время этот двигатель переживает свое второе рождение. Его кпд доведен теперь до 40–42 %, как у лучших дизельных двигателей. Благодаря исключительной простоте своего устройства двигатели Стирлинга могут длительно работать без технического обслуживания. Несколько лет работы без профилактики и ремонта. Это очень важное качество, особенно в морском деле.

Мальчишкой, задолго до начала Великой Отечественной войны, я часто ходил в магазин «Природа» на Кузнецком мосту в Москве. Там качал воздух в многочисленные аквариумы странный двигатель. Стоя на прилавке, он работал в течение многих лет. Непрерывно, бесшумно крутились два маховичка, вращая насос. А в действие его приводил огонек маленькой спиртовки или керосинки, которая ставилась внизу, под двигателем. Спустя много времени, уже после окончания войны, я узнал, что это был двигатель Стирлинга. Но после войны двигателя в магазине не стало. Журнал «Изобретатель и рационализатор» несколько лет назад сообщил о разработке подобного двигателя мощностью в 1 кВт на заводе-ВТУЗе им. И. А. Лихачева.

В двигателях внешнего сгорания нет клапанов, нет толкателей, нет распределительных валов. Словом, нет никаких деталей механизма распределения. Нет и устройств для впрыска топлива, т. е. форсунок, насосов и деталей их привода. Нет системы зажигания. Двигатель работает плавно и бесшумно, без толчков и вибраций. Топливо сгорает почти полностью. Содержание вредных веществ в отходящих газах не выше, чем у хорошо отрегулированной кухонной газовой плиты. Можно обойтись и вообще без топлива, если применить для нагрева цилиндра солнечное тепло или горячие струи гидротерм.

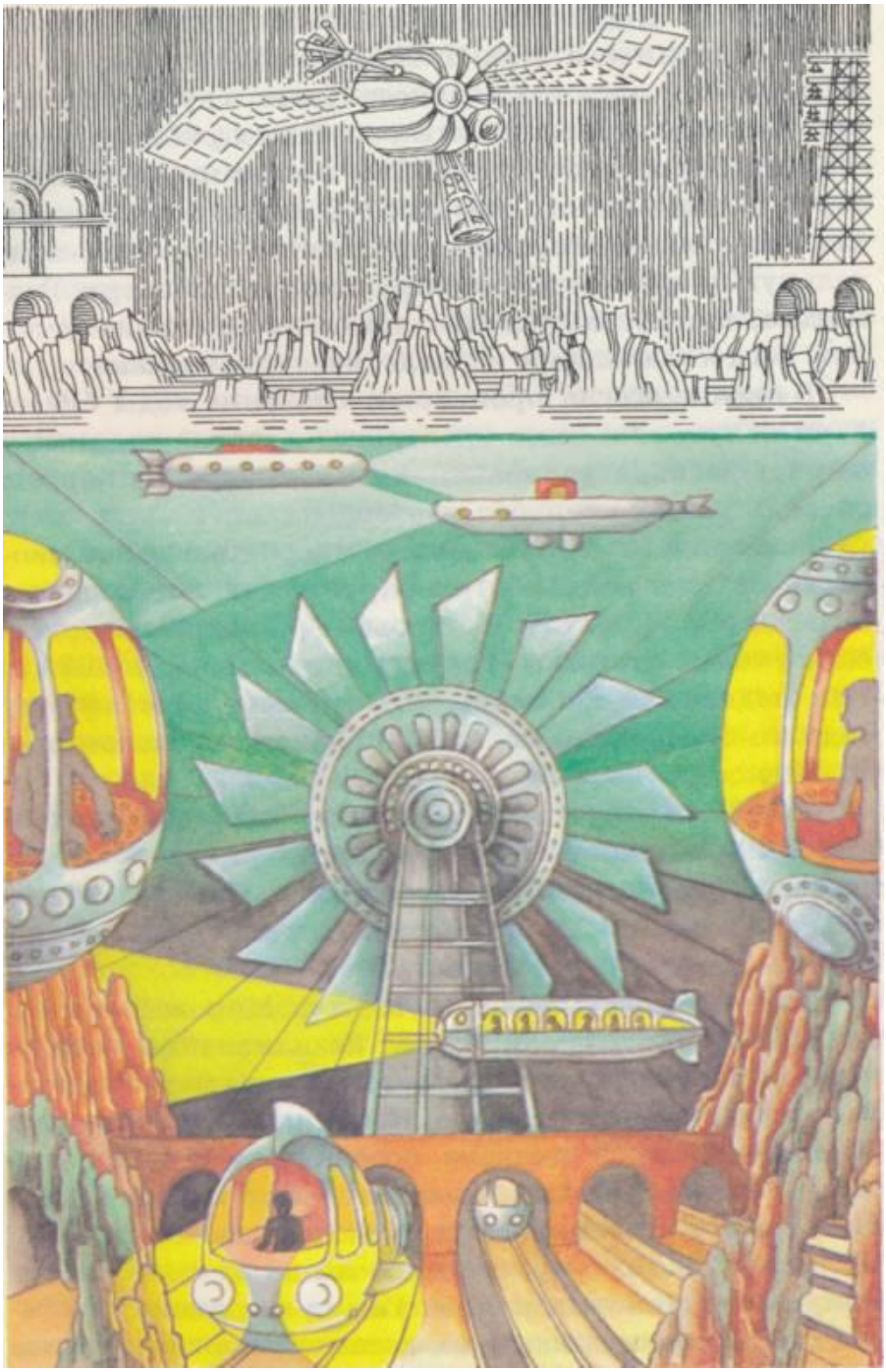
Этот удивительный двигатель может работать в космосе и под водой. Последнее свойство особенно важно в нашем случае. Сообщения говорят о том, что подводная лодка с двигателем Стирлинга не нуждается ни в электрических аккумуляторах, ни в атомных реакторах.

Работу двигателя в погруженном состоянии предлагается обеспечить сжиганием метанола или дизельного топлива в искусственной атмосфере из отработанного газа с добавкой 20 %

кислорода. Как сообщается, в этом случае происходит почти полное преобразование топлива в водяной пар и двуокись углерода. При охлаждении смесь газов конденсируется в насыщенную углекислотой воду и в сильно разбавленном состоянии может откачиваться в морскую воду без образования пузырей.

Еще одна важная особенность двигателя Стирлинга — он легко переводится в режим компрессора-холодильника. Именно в таком режиме его часто применяют на искусственных спутниках Земли для охлаждения приемников инфракрасного излучения. Приемники эти хорошо работают лишь при температурах, близких к абсолютному нулю.

При исследованиях с помощью ПОА глубинных полей гидротерм наличие на борту достаточно мощного холодильника также будет весьма полезно для экипажа. Иллюминаторы ПОА из пластмасс являются одним из наиболее легкоуязвимых элементов конструкции. Но их можно заменить на иллюминаторы из кварцевого стекла. Оно не боится повышенного нагрева и гораздо прочнее. А для обеспечения безопасности экипажа от перегрева при работе в районе горячих гидротерм необходим достаточно мощный кондиционер, способный хотя бы временно задержать чрезмерный нагрев кабины с экипажем. Машина Стирлинга подходит для решения этой задачи.



Двигатель Стирлинга должен получить заслуженное место в современном мире, озабоченном восстановлением чистоты окружающей среды. Широкое внедрение водородной технологии связано с успешным решением многих вопросов. К числу их

относится не только нахождение наиболее дешевых способов получения водорода, но также и разработка наиболее удобных способов его транспортировки и хранения в баках различных передвижных средств, к числу которых относятся не только ПОА, но также и многочисленные другие, например автомобили. Здесь имеется широкий круг интересных вопросов.

Свет от воды. Исследование Ю. А. Бабошина, С. Л. Лопатникова и Н. И. Попова убедительно показывает, что животные абиссальных глубин имеют возможность видеть. В самых глубоких районах океана нет абсолютного мрака. Там всегда имеется некоторая освещенность. Но не от Солнца, а от… воды. Свечение воды позволяет животным получать зрительную информацию об окружающем их мире. Возможно, это обстоятельство является одним из условий богатства жизни в экологических оазисах.

В океане всегда происходит свечение воды благодаря излучению света электронами, образующимися за счет распада радиоактивных элементов, в первую очередь радиоактивного изотопа калия-40.

Если электрон движется со скоростью выше скорости света в воде, он генерирует свет. Это явление называется эффектом Вавилова — Черенкова. Советские ученые открыли его экспериментально в 1934 г. Как недавно выяснилось, теоретически этот эффект задолго предвидел английский физик и математик О. Хевисайд.

В 1888 г. Хевисайд предсказал световое излучение при движении зарядов в диэлектриках со сверхсветовой скоростью. Но эта работа не была замечена его современниками. Ее нашли совсем недавно, когда разбирали его научное наследие.

Интенсивность свечения воды в Мировом океане по всей глубине неодинакова. Ее изменения определяются не только статистическими неравномерностями радиоактивного распада. Неодинаковость свечения различных слоев вызвана особенностями распределения радиоактивных излучателей в толще воды. В метровом слое воды, прилегающем непосредственно к океанскому дну, свечение выше за счет гамма-излучения минералов дна. Гамма — излучение вызывает образование электронов, способных эффективно генерировать черенковские фотоны.

В водах гидротерм наблюдается также некоторое увеличение количества черенковских фотонов, что объясняется увеличением содержания в них радиоактивных элементов. Однако явление это не приводит к существенному увеличению освещенности из-за повышенной мутности вод. Мутность вызывает повышенное

поглощение черенковского света.

Средняя интенсивность черенковского свечения в Мировом океане находится в пределах 10^{-11} — 10^{-12} Вт/м^2. Это очень слабая освещенность. Она примерно на четыре порядка меньше освещенности поверхности океана в темную, безлунную ночь, когда небо закрыто тучами.

Столь слабую освещенность удобнее характеризовать числом квантов, т. е. фотонов, падающих на единичную площадку в единицу времени. Средняя облученность толщи океанской воды составляет примерно 1 тыс. фотон/см^{2}с и может достигать 3 тыс. фотон/см^2•с. Последняя цифра относится к идеально прозрачной воде океана с показателем поглощения порядка 0,01 (1/м). Подобная облученность создается равномерно распределенными в толще воды океана радионуклидами, т. е. источниками черенковского света, ежесекундно создающими в каждом литре морской воды примерно 325 фотонов.

Цифры свидетельствуют, что в глубинах океана не так уж темно, как считалось совсем недавно. Там всегда имеется некоторая освещенность, или, лучше сказать, облученность, позволяющая животным видеть друг друга.

Источник света интенсивностью в несколько десятков световых квант в секунду может видеть человеческий глаз. Это доказал академик С. И. Вавилов в 1934 г., когда он со своим сотрудником увидел такой источник после длительной адаптации.

Глаза глубоководных животных (рыб) гораздо лучше человеческих приспособлены к видению при столь низких освещенностях. Природный фотодетектор — глаз глубоководного животного по своим возможностям далеко превосходит приборы, созданные человеком. Поэтому нам трудно даже представить тот сильнейший шок, который неизбежно возникает у абиссального населения океана, когда исследователи ведут наблюдения с помощью подводных телевизионных установок, применяя мощную подсветку.

Отсюда вытекает актуальность разработки новых, более чувствительных систем подводного телевидения.

Авторами составлены графики, показывающие глубины, начиная с которых черенковское свечение морской воды преобладает над солнечным светом. Эта глубина зависит от длины волны солнечного света и от прозрачности вод Мирового океана.

Интересно, что для вод I типа (наиболее прозрачных) преобладание черенковской освещенности для световых волн длиной около 450 нм начинается на глубинах немногим более

1 тыс. м; для вод III типа (наиболее мутных) — с глубин меньше 200 м. Особенно значительное преобладание черенковского света наблюдается для ультрафиолетовых лучей с длиной волны 300 нм. Для III типа вод оно имеет место уже с глубины всего 30 м. Таким образом, ультрафиолетовая компонента подводного света оказывается практически полностью обусловленной черенковскими источниками.

Зрение — мощный биологический фактор. Установление возможности пользования зрением для живых существ на больших глубинах представляет научный интерес. Должно пройти еще какое-то время для полного осознания и понимания этого неожиданного вывода.

Сетчатка глаз некоторых глубоководных рыб по старым данным как будто состоит только из одних палочек. Но они обеспечивают только сумеречное зрение, не позволяющее различать цвета. Для цветного зрения в глазах глубоководных животных должны быть колбочки. Обнаружение их объяснит пользу цветной окраски.

Глубоководные животные океана могут получать визуальную информацию благодаря эффекту Вавилова — Черенкова с помощью своих зрительных органов, обладающих высокой светосилой и отличающихся высокой чувствительностью.

Гигантский конвейер на дне океана

О происхождении гидротерм. Вот сейчас, читая эти строки, вы движетесь вместе со своим столом, домом, населенным пунктом. Точнее — вместе со своей литосферной плитой, на которой все находится. А в каком направлении и с какой скоростью, это зависит от плиты. Обычно перемещения плит совершаются очень медленно — со скоростью примерно 1 см в год. Однако есть плиты, имеющие скорость движения в 10–15 раз большую. Но и при такой скорости за 80 лет ваш дом передвинется всего на 8—12 м. Вы этого не заметите, так как одновременно произойдет такое же смещение всех соседних с вашим домом предметов.

Иное дело, если бы вы вернулись на Землю после длительного путешествия в космосе со скоростью, близкой к световой. Например, так, как это произошло с героями романа Веркора «Планета обезьян». За время их отсутствия на Земле прошло много тысяч лет. В этом случае найти свой дом будет труднее.

Ученые насчитали 9 громадных плит и десятки плит поменьше, в том числе микроплиты. Площадь отдельных плит колеблется от сотен миллионов до нескольких сотен квадратных километров. Толщина плит изменяется от нескольких километров у их краев в местах образования до 200 км у континентальных.

На рисунке на с. 74 приведена карта расположения литосферных плит. Самая большая — Тихоокеанская. Она находится на дне Тихого океана, но занимает не всю его площадь. Рядом с ней другая плита — Наска, она значительно меньше. А по соседству с ними лежит плита Кокос (ее часто называют Кокосовой плитой). На вид она самая маленькая из трех. Ученые предполагают, что на самом деле она гораздо больше: значительная часть ее ушла под соседние плиты. Три названные плиты океанские, т. е. они расположены под водой и не выходят на сушу.

Имеется еще шесть плит смешанной конструкции: Североамериканская, Евроазиатская, Африканская, Южноамериканская, Индийская, или Индо — Австралийская, Антарктическая. Каждая из них объединяет континентальные (т. е. материковые) площади с участками океанского дна. Плиты перечислены в порядке убывания их площадей, все они показаны на карте на с. 74. Иногда их, включая три океанские, называют главными плитами. Некоторые ученые называют еще Аравийскую плиту.

Десять названных литосферных плит занимают примерно 85 % всей поверхности земного шара. Оставшиеся 15 % приходятся на малые и микроплиты. Микроплиты — обломки, затертые между мощными плитами, находятся в пределах границ главных плит. Впрочем, отдельные микроплиты найдены в частях больших плит, далеких от пограничных. Значение имеет не размер, а характер движения и расположение глубинных разломов, по которым плиты скользят в процессе своего перемещения. Тут мы подошли к основному положению теории тектоники — все литосферные плиты находятся в непрерывном движении.

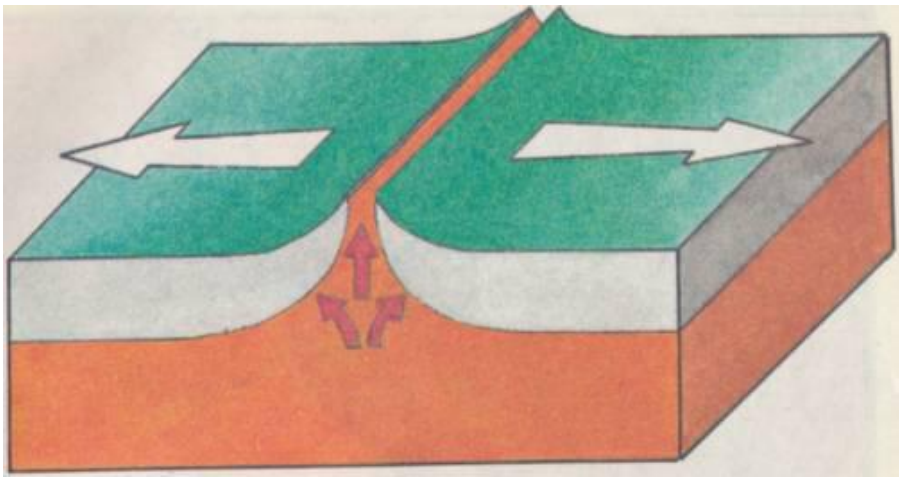
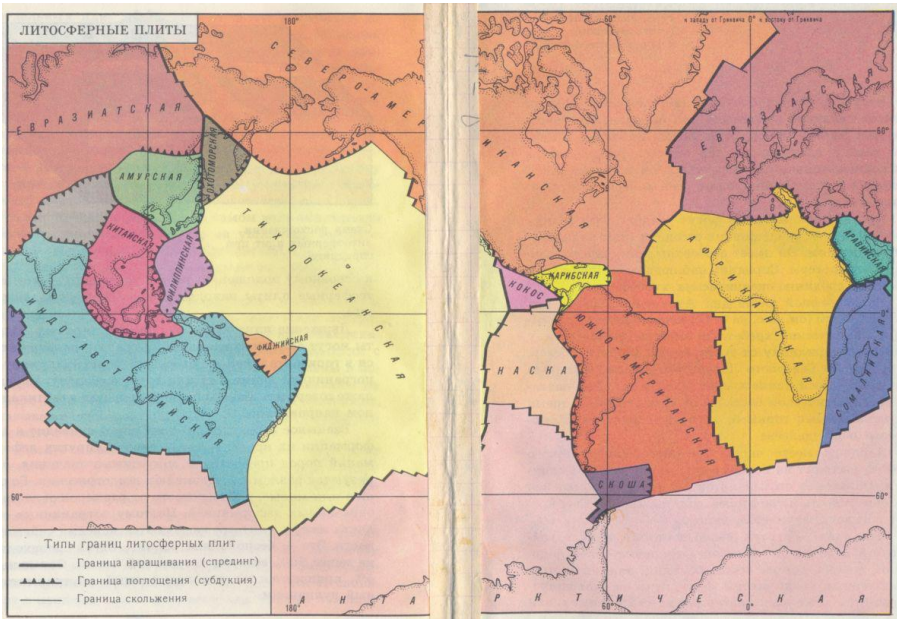


Схема расхождения литосферных плит при спрединге.

Движение плит имеет различный характер. Плиты могут скользить вдоль своих границ, перемещаться в горизонтальной плоскости по перпендикуляру к пограничной линии в ту или другую сторону. Иногда даже совершать небольшие перемещения в вертикальном направлении.

Взаимное перемещение плит часто приводит к деформации их краев. А когда предел упругих деформаций пород превосходит допустимые значения, образуются разломы и возникают землетрясения. Большие или малые, в зависимости от размеров областей, охваченных деформацией. Поэтому пограничные области между плитами называются поясами сейсмичности. Это — беспокойные районы. Здесь происходит не менее 95 % всех землетрясений Земли. Остальные 5 % приходятся на так называемый внутриплиточный вулканизм.


ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ
ЕВРАЗИАТСКАЯ
СЕВЕРОАМЕРИКАНСКАЯ
АМУРСКАЯ
ОХОТОМОРСКАЯ
ФИЛИППИНСКАЯ
ТИХООКЕАНСКАЯ
ИНДО-АВСТРАЛИЙСКАЯ
ФИДЖИЙСКАЯ
АНТАРКТИЧЕСКАЯ
ИНДИЙСКАЯ
АФРИКАНСКАЯ
АРАВИЙСКАЯ
КАРИБСКАЯ
КОКОС
НАСКА
ЮЖНО-АМЕРИКАНСКАЯ
СКОША
СОМАЛИЙСКАЯ
Типы границ литосферных плит
Граница наращивания (спрединг)
Граница поглощения (субдукция)
Граница скольжения

Рельефная карта Атлантического и Индийского океанов.

Ведущие ученые считают наличие сейсмических поясов главным признаком для определения современных границ между отдельными плитами. Границы между плитами на дне океанов определяются экспериментально с помощью особой измерительной техники — многоканального сейсмического профилирования.

При движении плиты могут раздвигаться между собой. Процесс раздвижения соседних плит называется спредингом. Он имеет особое значение для образования гидротерм. Спрединг наблюдается в рифтовых долинах срединно — океанических хребтов.

На рельефной карте дна Атлантического океана в левой части (см. рис. на с. 77) хорошо виден Срединно — Атлантический хребет. Он змейкой вьется по дну почти по меридиану от Антарктиды вверх на Север, к просторам Северного Ледовитого океана. В разных частях по своей длине хребет имеет отдельные названия. В Арктическом бассейне он заканчивается тремя параллельными горными хребтами: Гаккеля, Ломоносова и Менделеева.

В одном месте часть Срединно — Атлантического хребта выходит на поверхность — это остров Исландия. Образован он базальтовой лавой, поднявшейся на поверхность из рифтовой долины хребта. Сам хребет остался, разумеется, внизу.

Исландия — страна огнедышащих вулканов, гейзеров и горячих источников. Отопление более половины жилых домов, школ, больниц, теплиц и промышленных предприятий ведется там за счет гидротерм. Есть даже электростанции на гидротермах, как у нас на Камчатке. Гидротермальные источники дают очень большой тепловой поток: $2{,}2 10^{12}$ больших калорий в год на 80 тыс. км срединных хребтов. Эта цифра — до 30 % всего теплового потока на земном шаре. В 250 км от Северного полярного круга тепло гидротерм помогает выращивать огурцы, дыни, помидоры, цветы и бананы!

За счет извержения подводного вулкана 14 января 1963 г. территория Исландии увеличилась на 3,75 $км_2$ — образовался островок. Извержения вулканов (их около 200, причем 30 — действующих) здесь происходят в среднем каждые пять лет. Страной льдов и огня называют Исландию.

По оси каждого срединного хребта четко прослеживается глубокая рифтовая долина. Хребет как бы рассечен по всей длине на две части — восточную и западную. Симметричность строения склонов вправо и влево по осевой линии хребта свидетельствует о сходстве происходящих здесь процессов по обе стороны. В правой части карты находится Срединно-Индийский хребет. На нем также хорошо видна рифтовая долина.

Дно океанов в основном горы. Этот удивительный факт был установлен всего четверть века назад. Совсем недавно считалось, что дно океанов — плоская равнина и там нет ничего интересного, за исключением редких подводных гор. Вершины некоторых из них выходят на поверхность — это острова. И

только.

Глобальная система срединно — океанических хребтов имеет суммарную длину около 80 тыс. км. Подобных гигантских горных систем нет на поверхности Земли. Вершины многочисленных подводных гор возвышаются над дном океана на 2,5–3 км, а ширина хребтов у основания доходит до 2–3 тыс. км.

Как показывают наблюдения с подводных обитаемых аппаратов, склоны рифтовых долин, обращенные к оси хребтов, очень круты. Там часто встречаются обрывистые уступы высотой в несколько сотен метров. По геологическому строению рифтовых долин ученые судят о протекающих в них геофизических процессах. А они там идут довольно бурно. Рифтовая долина — одно из самых загадочных образований срединных хребтов. Это щель в таинственные недра нашей планеты.

Если взять пробы донного грунта, а потом определить в лаборатории их возраст, то окажется, что с удалением от оси рифтовой долины возраст пород будет возрастать.

Именно так поступили американские исследователи в 1968 г., когда с помощью плавучей буровой вышки «Гломар Челленджер» им впервые удалось взять для анализа образцы донных пород на разных расстояниях от оси Срединно — Атлантического хребта. Одновременно был определен возраст намагниченности образцов. Оказалось, что он также увеличивается при удалении от хребта. Периодически измеряется и знак намагниченности.

Исследования привели ученых к выводу, что в рифтовых долинах срединных хребтов образуется новая океанская кора, которая постепенно расползается в обе стороны от породившей ее долины.

На дне океанов как бы работает гигантский конвейер. Он переносит молодые блоки литосферных плит от места их зарождения к континентальным окраинам океанов. Дорога, как правило, длинная — ведь блоки плит должны пересечь половину ширины океана. А скорость движения маленькая.

Пусть плита образовалась в рифтовой долине на расстоянии 1500 км от ближайшего берега. Примем для простоты подсчета скорость ее перемещения ≈10 см/год. Чтобы достичь берега, этой плите потребуется 15 млн. лет. По дороге на плите будут накапливаться различные осадки. К концу путешествия их максимальный возраст, как показали исследования, будет около 10–15 млн. лет. По прохождении своего пути плита опустится в глубоководный желоб и нырнет под континент, обратно в астеносферу, из которой она образовалась в рифтовой долине (конечно, расплавившись по мере погружения). Так замыкается

круг жизни каждой литосферной плиты. Литосферный конвейер работает не непрерывно, а дискретно, т. е. прерывисто, скачками. Об этом свидетельствуют последние данные.

На рельефной карте Тихого океана (см. рис. на с. 38) особенно хорошо видно кольцо глубоководных желобов, окружающих океан по окраинам. Его называют огненным кольцом. Кольцо — одно из самых беспокойных мест планеты. Еще не размягчившиеся как следует блоки литосферных плит «со скрипом» погружаются в тесное пространство желобов. Поэтому в районе огненного кольца часто возникают землетрясения.

Когда начинается спрединг и края соседних литосферных плит расходятся, в образовавшуюся между ними щель снизу поднимается магма — базальтовый расплав из астеносферы. Вещество астеносферы находится в состоянии, близком к плавлению. Поэтому оно способно течь. Считается, что расплав обладает свойствами ньютоновской жидкости и имеет вязкость порядка 10^{20} — 10^{21} пуаз (при ламинарном течении имеет постоянную вязкость, не зависящую от режима течения в области докритических значений числа Рейнольдса). Но не из всей астеносферы, а из ближайшего приповерхностного магматического очага, или камеры. Так называется еще мало изученная горячая ячейка в астеносфере, откуда происходит излияние магмы в рифтовую долину. Не всегда поднимающаяся вверх магма идет на «мирное строительство» новой коры океана. Иногда, и, к сожалению, нередко, она изливается на поверхность Земли. Тогда она грозит бедой всем, кто окажется поблизости. Так, летом 1984 г. в районе порта Рабаула (Новая Гвинея) начались подземные толчки с магнитудой до 5,5 по шкале Рихтера. Магнитудой называется логарифм отношения, в числителе которого стоит максимальное смещение земной поверхности в волне, или максимальная скорость, а в знаменателе — аналогичная величина для землетрясения, магнитуда которого принята за 0. Частота толчков достигала 1400 в месяц! Трясло через каждые полчаса. Ученые связывают это длительное землетрясение с подъемом большого участка земной коры на дне бухты Бланч. За последние 2 года он поднялся примерно на метр. Здесь на дне имеются разломы в коре океана, которые активизировались в последние 10 лет.

Специалисты пришли к выводу, что в этом месте выталкивается на поверхность содержимое магматического очага. Образуется новый вулкан, бурное извержение которого считается вполне реальным. В район развертывающихся событий пришло несколько научно — исследовательских судов. Ученые получили уникальную возможность непосредственно наблюдать процесс

образования вулкана.

Но вернемся к процессам в рифтовых долинах. В щель между плитами, образовавшуюся в результате спрединга, сверху низвергается вода. Возникает противоборство огня и воды. Поднявшийся по щели магматический расплав постепенно затвердевает на уровне, соответствующем гидростатическому равновесию. Это означает, что блоки вновь образовавшихся литосферных плит плавают на поверхности астеносферы, как куски льда на поверхности воды.

Одновременно с отвердением идет химическая реакция гидратации (взаимодействие магмы с водой, сопровождающееся образованием гидратных соединений), в результате которой постепенно образуется новая кора океана.

При следующих вспышках тектонической активности вновь образовавшиеся блоки поднимутся выше через верхние края плит, толкая перед собой ранее образованные. Именно поэтому возраст пород дна увеличивается с удалением от оси рифтовой долины. В рифтовых долинах образуется много глубоких трещин. Глубина их достигает 3 км, ширина разная, часто всего несколько миллиметров. Их можно видеть из подводных обитаемых аппаратов. Расчеты показали, что ширины щели всего в 3 мм уже достаточно для циркуляции в ней морской воды. Широкая циркуляция воды по глубоким трещинам приводит к образованию гидротерм.

В трещинах при контакте соленой воды с раскаленным базальтом первоначальный химический состав воды и ее температура изменяются. Вода сильно нагревается и насыщается ионами марганца, железа, кремния, цинка, калия и других элементов. Происходят химические реакции между элементами, содержащимися в соленой воде океана и вымываемыми из слоев базальта. В результате на поверхность дна океана обратно выходят струи гидротерм, значительно отличающиеся по своему химическому составу от обычного состава воды океана. Гидротермы образуются не только в зонах спрединга, но и в зонах трансформных разломов. Так называются места на дне океанов, где края плит скользят друг по другу, не расходясь и не сближаясь, более или менее параллельно. В таких районах также много глубоких трещин, куда проникает вода океана и где, следовательно, может происходить образование гидротерм.

Интенсивность процесса образования новой коры определяется скоростью спрединга (числом сантиметров, на которые расходятся за один год две соседние литосферные плиты). Это очень важный параметр. Скорость считается малой, если она меньше 6 см/год, большой — если больше 6 см/год.

Медленно расширяющиеся хребты составляют половину всей системы срединно — океанических хребтов. В них гидротермальная деятельность не столь интенсивна, как в быстро расширяющихся. Но они считаются перспективными в смысле поиска полезных ископаемых (полиметаллических руд). Предельной еще недавно считалась скорость 15 см/год. А теперь появилось сообщение об обнаружении сверхскоростного спрединга. Он открыт в южной части Восточно-Тихоокеанского поднятия (Галапагосский хребет). Здесь скорость раздвижения плит достигает 16 см/год. Считается, что это — самая высокая скорость спрединга на Земле.

Суммарная скорость расхождения двух плит не означает, что скорости обеих плит равны. Например, в районе Фамоус (Атлантика) суммарная скорость равна 2,4 см/год, но скорость с восточной стороны выше, чем с западной.

Скорость 3 см/год соответствует скорости около одного микрометра в секунду (10^{-7} см/с). Примерно с такой скоростью растут некоторые деревья, движутся ледники и частицы при броуновском движении. Скорости такого порядка измеряются с помощью лазерных допплеровских анемометров (ЛДА). Именно с помощью этих интересных приборов были измерены и скорости движения литосферных плит.

Вспомним принцип эффекта Допплера: спектр сигнала, отраженного от движущегося предмета, отличается от спектра первоначального сигнала. Например, тон звукового сигнала электрички, проходящей без остановки мимо платформы, на которой вы стоите, заметно изменяется на слух в процессе ее движения. Когда она быстро подходит, частота звука ее сигнала заметно нарастает — звук становится более высоким, а когда она миновала платформу и удаляется от вас, звук не только делается более тихим, но и понижается его частота — звук становится басовитым. Происходит это потому, что при приближении поезда скорость самого источника, т. е. гудка, складывается со скоростью распространения звука в воздухе. В результате каждую секунду в ухо попадает большее число звуковых волн. Неподвижный наблюдатель слышит повышение тона гудка. При удалении поезда все происходит наоборот — в единицу времени попадает меньшее число звуковых волн, что соответствует кажущемуся уменьшению высоты тона гудка для неподвижного наблюдателя.

При изучении движения литосферных плит пользуются не акустическими сигналами, а электромагнитным излучением от лазеров. Первоначально были созданы стационарные, т. е. неподвижные, установки. Они позволили измерить скорость передвижения отдельных горных вершин. Подобные измерения

производятся, например, в Гималаях.

А теперь сделан удачный опыт измерения скорости перемещения литосферных плит, находящихся на поверхности Земли, с помощью спутников.

Для этой цели английские ученые создали космическую систему из одиннадцати искусственных спутников, находящихся на разных высотах: от 1 до 6 тыс. км. На спутниках смонтированы зеркала, отражающие импульсы лучей лазеров, посылаемых с поверхности Земли. Отсчет времени с момента посылки лучей до момента их возврата позволяет с необходимой точностью измерять движения плит, образующих земную кору. Еще никто не измерил скорость перемещения плит на дне океана в зоне рифтов или в зоне сейсмических поясов.

Ученые опускают туда донные сейсмографы — особые магнитофоны, способные улавливать очень низкие частоты. Они часто регистрируют там микроземлетрясения, о которых на поверхности никто и не догадывается. Донные сейсмографы — очень чувствительные приборы. Они записывают шорохи и шумы, возникающие при самых малых подвижках плит, вблизи которых они установлены на дне. Развивается новая область сейсмологии, которая должна помочь людям своевременно получить информацию о надвигающемся землетрясении.

Рифтовые зоны относятся к числу наиболее изученных районов срединных хребтов. Они — в центре внимания ученых разных специальностей. Как устроен гигантский механизм, заставляющий плиты перемещаться? По этому поводу высказано много различных гипотез и сделано большое количество экспериментов, но число вопросов не уменьшилось. Например: почему в низкоспрединговых хребтах наблюдается боковое поднятие сбросовых ступеней по краям рифта? Почему их нет там, где происходит быстрый спрединг?

Что такое су. бдукция и что она может? Если две литосферные плиты движутся навстречу друг другу, т. е. сходятся, то настает момент, когда они сталкиваются. Развивается процесс поддвига и погружения одной из плит под другую. Такой процесс называется субдукцией. Зоны, где она происходит, интересны с точки зрения поиска полезных ископаемых.

[image]
Схема «бульдозерного» эффекта.

Край плиты, оказавшийся сверху, сгребает осадки с поверхности плиты, идущей вниз. Верхняя плита работает как

нож бульдозера. В результате на поверхности уходящей вниз плиты появляются мощные складки осадочных пород. Складки эти образуют структурные ловушки, где могут скапливаться большие количества нефти и газа (см. рис. на с. 86). Нефть и газ легче воды. Поэтому они стремятся всплыть. Если этому препятствует достаточно плотный слой осадков, то нефть и газ будут скапливаться в самом высоком месте, т. е. в складках под куполами. Предполагается, что подобный механизм способствовал образованию нескольких крупных месторождений нефти и газа в разных частях земного шара.

Но субдукция дает не только положительный эффект. Столкновение литосферных плит приводит к землетрясениям. Иногда очень сильным, когда погибает много людей. Пример — землетрясение в Мексике в 1985 г.

Плита Кокос движется в восточном направлении. Она поддвигается под Северо — Американскую плиту у западного побережья Мексики. Плиты движутся со средней скоростью 6 см/год навстречу друг другу. Поддвиг Кокосовой плиты происходит под ту часть Северо — Американской плиты, которая является участком дна Тихого океана в этом районе. При переме щении плит возникают большие механические напряжения, сосредоточенные на наиболее прочных отрезках.

19 сентября 1985 г. в 7 ч 18 мин на глубине 15 км под г. Ласаро — Карденас произошло вспарывание одного из наиболее напряженных участков на границе между двумя плитами. В этом месте края плит разошлись в течение нескольких секунд почти на 2 метра! Сила подземного толчка достигла 8,1 балла по шкале Рихтера. Но разрушения, как сообщала печать, были сравнительно небольшими. Ускорение движения вблизи эпицентра было в пределах 15 % от ускорения силы тяжести (g). Известно, что при землетрясениях, происшедших раньше в других районах, ускорение достигало единицы g, т. е. 9,81 м/с^2. В следующую минуту импульс распространился на 170 км вдоль разлома, через 2 мин с небольшим он прошел 360 км и достиг г. Мехико.

В Мехико живет около 18 млн. человек. Здесь колебания Земли вызвали разрушение многих сотен больших зданий и гибель тысяч жителей. Наиболее сильные колебания были отмечены в плотно застроенном высокими домами центре города. Трагический эффект был особенно велик из-за неожиданного механического резонанса, возникшего в глинистом грунте, на котором стоит город.

Большая часть города расположена на территории высохшего древнего озера, от которого остался толстый слой глины.

Собственный период механических колебаний этого слоя оказался близким к 2 с. Примерно тот же период имели сейсмические колебания, возникшие при вспарывании. В результате под городом возник резонанс, значительно усиливший катастрофу.

Особенно пострадали те здания, собственный период колебаний которых был близок к резонансному.

Каждый этаж дает период колебаний примерно в ОД с, поэтому здания в 20 этажей теоретически имели резонансный период в 2 с. Разрушилось 300 зданий высотой от 6 до 15 этажей. Это свидетельствует о размытости кривой резонанса, что наблюдается всегда при недостаточно добротном резонаторе.

Ученые пока еще не научились точно предсказывать землетрясения. Если бы удалось контролировать механические напряжения в месте контакта двух плит, то, вероятно, можно было бы получить полезную информацию, предупреждающую о надвигающейся катастрофе.

Однако проникнуть в глубину коры океана на полтора десятка километров очень трудно. Ученые еще только осваивают технику сверхглубокого бурения (скважина на Кольском полуострове).

Недавно установлено, что столкновение литосферных плит не только грозит землетрясением, но и влияет на климат. Влияние это обнаруживается за несколько месяцев до катастрофы. В районах, где ожидалось сильное землетрясение, наблюдались резкие аномалии погоды. Над очагами будущих катастроф была задолго отмечена максимальная солнечная радиация, наибольшее количество ясных дней, самая высокая температура воздуха и скорость ветра, минимальная облачность, влажность и наименьшее количество осадков.

Например, перед катастрофическим землетрясением в Ашхабаде 1948 г. прошедшей зимой было самое большое число часов солнечного сияния за много лет. Второй максимум этого параметра наблюдался зимой 1967–1968 г., перед вторым ашхабадским землетрясением.

М. Р. Милькисом собран обширный материал по наблюдениям 120 метеостанций, подтверждающий появление погодных аномалий и в других районах Туркмении и Узбекистана перед большими землетрясениями.

Итак, необходимо наблюдать за погодой, сравнивать с тем, какой она была раньше, и делать соответствующие выводы. Однако сделать правильный вывод не всегда просто.

В 1986 г. на Черноморском побережье Кавказа стояло необычайно жаркое лето. Несколько месяцев не было дождей.

Относительная влажность воздуха временами достигала необычайно низких значений. Случались и сильные ветры. Можно ли по этим данным с уверенностью сказать, что будет сильное землетрясение? Думаю, что нет. Ведь такая погода случалась здесь и раньше, примерно один раз в 5–6 лет. И не было землетрясений. Следовательно, необходима еще дополнительная информация.

М. Р. Милькис считает, что погодные аномалии в областях, где подготавливаются землетрясения, связаны с тепловыми и электрическими явлениями, возникающими в процессе подготовки сейсмического удара.

Сходная точка зрения была высказана раньше другими исследователями. 4 марта 1977 г. за несколько часов до сильного землетрясения в Карпатах академик М. А. Садовский совместно со своими сотрудниками Г. А. Соболевым и Н. М. Мигуновым зарегистрировали повышенное количество электрических разрядов на расстоянии около 300 км от будущего эпицентра землетрясения. Направление прихода сигналов было близким к эпицентру. Более 80 % зарегистрированных импульсов отклонялись от направления на эпицентр не более чем на 15°. Наблюдалось свечение атмосферы вблизи эпицентра. Одновременно были отмечены многочисленные сбои в работе ЭВМ и телеграфной связи.

Авторы этой работы подчеркивают, что их прием — ная аппаратура позволяла отделить сигналы сейсмического происхождения от обычных помех, создаваемых грозовыми облаками, тучами пыли, ветром и т. п. Очень интересен вопрос о происхождении радио волновых предвестников землетрясения. Ученые считают их вторичным излучением, возникающим благодаря особой модуляции обычных электромагнитных излучений разрядов молний. Оно возникает при отражении электромагнитных волн разрядов в атмосфере (атмосфериков) от приземного слоя атмосферы, ионизированного вследствие сейсмической активности. Вне сейсмоактивной зоны возникает интерференция прямых и отраженных волн, приводящая к изменению естественного излучения разрядов молний.

В заключение несколько слов об одном геологическом происшествии, случившемся давным — давно.

Ученые умеют вычислять с помощью ЭВМ траектории движения отдельных литосферных плит. Благодаря этому удалось сделать реконструкцию положений материков в разные периоды геологической истории Земли.

Литосферные плиты совершают сложные перемещения по поверхности Земли. Движение любой плиты происходит вокруг

своей оси, проходящей через центр Земли. Но иногда некоторые плиты или, точнее, их куски ведут себя странным образом — этого пока не может объяснить теория. Вспомним об Аляске. В наши дни это северная оконечность Северо — Американской литосферной плиты. Но так было не всегда.

Изучение состава горных пород, их намагниченности и окаменелых остатков вымерших организмов привело американского геолога Дж. Сэлиби к выводу, что часть Аляски, прилегающая к Канаде, 375 млн. лет назад принадлежала Австралии. А потом этот кусок оторвался от восточной части Австралии, переместился через Тихий океан, сделал остановку у побережья Перу, затем двинулся в сторону Калифорнии, отрезал от нее небольшую прибрежную часть с золотоносными жилами, после чего пришел на свое нынешнее место…

Образование сульфидных руд. Вода гидротерм — жидкая руда. В ней растворено большое количество соединений различных металлов, таких, как железо, марганец, медь, цинк, кобальт, никель и др.

Измерения в «черных курильщиках» показали, что струя черного цвета с температурой около 330 °С выходит из трубы со скоростью от 0,5 до 2 м/с. Расход воды для трубы с внутренним диаметром 3 см колеблется в пределах от 3,5 до 14 л/с. Концентрация ионов металлов близка к 0,1 г/л. Одна труба с расходом примерно 10 л/с при такой концентрации дает около 100 кг металла в сутки. Значительная часть вынесенных в струе металлов не осаждается тут же на дно, а рассеивается вокруг, образуя полиметаллические осадки и, возможно, конкреции.

Непосредственное использование гидротерм для добычи тех или иных металлов в настоящее время считается экономически невыгодным. По подсчетам американских исследователей, для получения 1 т цинка требуется переработать примерно 6 млн. т термальной воды. Столько извергает средний «курильщик» за несколько месяцев. Одна тонна цинка стоит (по ценам 1986 г.) около 1 тыс. рублей. За такие деньги достать с большой глубины и переработать несколько миллионов тонн горячей воды невозможно. Иначе обстоит дело с использованием сульфидных руд, образующихся естественным путем в поле гидротерм.

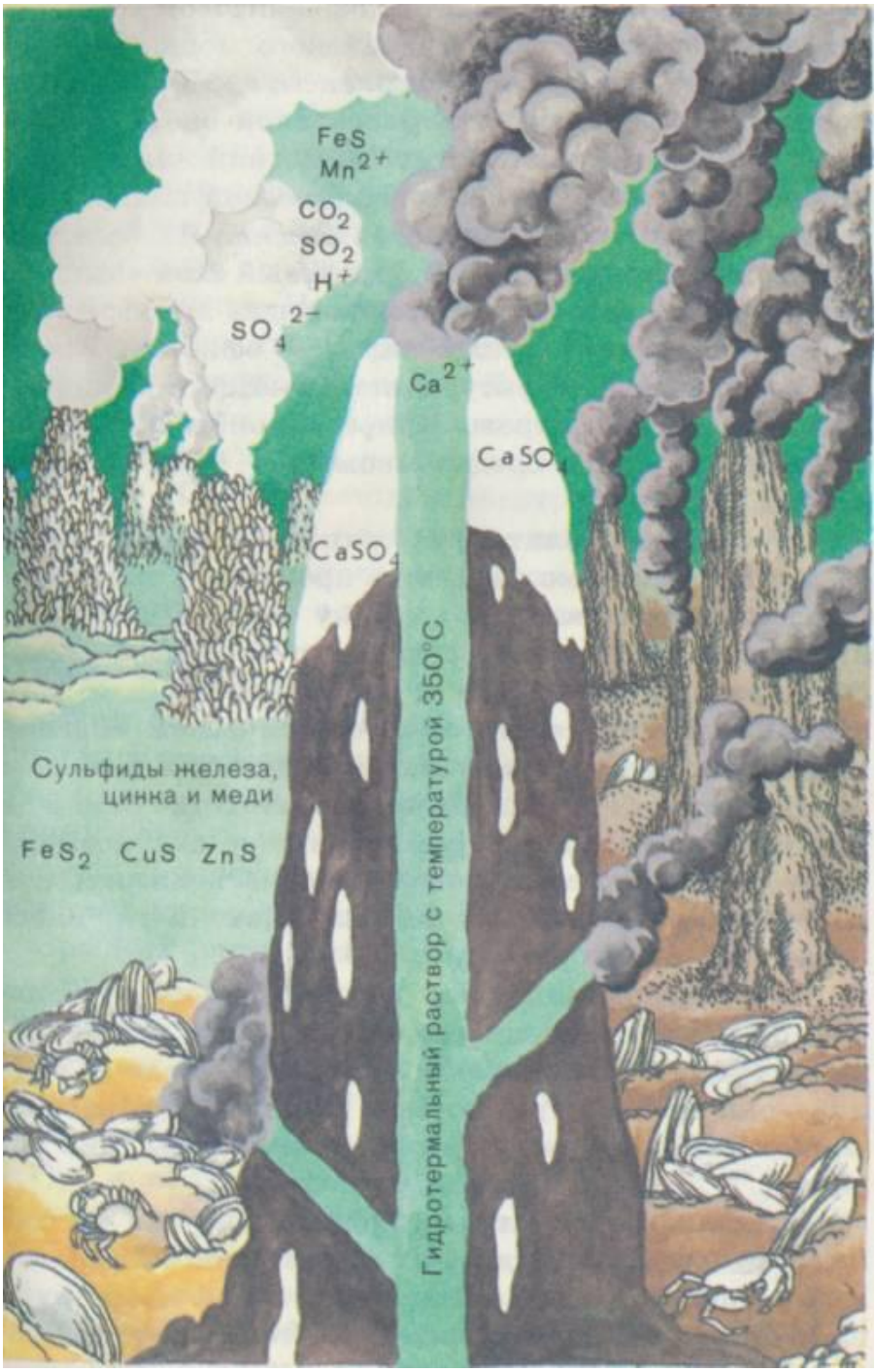
В гидротермальном растворе содержится около 0,01 % железа и по нескольку десятитысячных долей процента цинка, марганца, меди, кобальта и других ценных металлов. Имеется много кремнезема (0,129 %), сероводорода (0,021 %) и кальция.

После выхода гидротермальный раствор смешивается с холодной водой океана. Происходят различные химические реакции, в том числе приводящие к образованию «черного дыма»

(взвесь мелких частиц сульфида железа). Это соединение нерастворимо в воде, поэтому оно выпадает в виде черного дыма. А потом садится на дно, образуя залежи сернистого железа, известного в геологии под названием пирита.

В местах выхода гидротерм благодаря осаждению вокруг струи сульфата кальция образуются трубы. Кальций — из раствора, сульфат — из морской воды. Схема химических реакций, происходящих в «черных курильщиках», показана на рисунке на с. 93. Постепенно трубы разрастаются, их внутренняя поверхность реагирует с неразбавленной струей гидротермы и растворяется. В результате сульфат кальция замещается сульфидными минералами. Образуются сульфидные руды — ценное сырье для промышленности. Процесс идет не только вверх, но и вширь за счет боковых прорывов струи через стенки трубы. Постепенно на дне океана образуются сульфидные залежи, достигающие толщины в несколько десятков метров и длины в сотни метров. Образование отложений может привести к «засорению» труб и, следовательно, к прекращению функционирования гидротерм на данном участке поверхности дна.

С «Алвина» наблюдали множество «иссякших» труб на протяжении до 600 м по оси хребта. Отложение сульфидных руд в этом месте достигает толщины в несколько десятков метров! Миллионы тонн ценнейшей руды. Вопрос состоит в том, как лучше организовать их добычу.



Интересно, что подтверждение описанному механизму образования гидротерм было найдено на поверхности Земли. Речь идет об офиолитовом комплексе Омана на побережье

Аравийского моря. Офиолитами обычно называются комплексы, где базальтовые породы лежат поверх ультраосновной океанической коры. Они представляют собой легкий шлак, поднявшийся в верхнюю часть грандиозной плавильной печи, которой являются недра Земли. Из базальта состоит океаническое дно. Базальтовый слой «вышел* на материк в результате столкновения литосферных плит. Обнажился слоеный пирог — офиолит. Кроме Омана подобные структуры встречаются в Калифорнии, Тибете, на острове Кипр, в прибрежной зоне северо — восточного Средиземноморья и в других местах.

Изучение офиолитового комплекса Омана показало, что некогда морская вода проникла в толщу пород под дном океана на глубину более 5 км, где и произошла химическая реакция с породами океанской коры при температуре около 400 °С.

А потом, спустя долгое в геологическом понимании время, участок океанического дна был вытеснен тектоническими силами на поверхность Земли в районе Омана. Теперь здесь ученые имеют возможность, не погружаясь в океан, изучать химические реакции, происходившие давным — давно в глубинах Земли под дном океана.

Изучение офиолитовых комплексов имеет большое практическое значение, поскольку в них встречаются металлоносные осадки и рудные тела (в виде линз они часто встречаются в офиолитах в разных концах Земли). В них содержатся миллионы тонн пирита.

Предполагается, что в глубинах океанов на дне много сульфидных руд, богатых разными металлами, в том числе серебром. Например, сульфидная руда из Восточно — Тихоокеанского поднятия (21° с. ш.) со держит около 50 % чистого цинка, 0,75 % меди, 0,35 % свинца, 700 г/т кадмия и до 400 г/т других металлов. Столь же богаты ценными металлами сульфидные руды из трех других месторождений на дне океана. Ученые ищут промышленные месторождения сульфидных руд. Сульфидные руды очень ценны. Поэтому даже небольшие залежи их имеют промышленное значение. Недавно было сообщение о том, что совместная франко — американская экспедиция нашла в одной из рифтовых долин Тихого океана залежи сульфидных руд во много миллионов тонн. Поиски велись с борта французского подводного обитаемого аппарата «Сиана» методом электроразведки. Месторождение это имеет промышленное значение. Будут найдены и другие месторождения этих ценнейших руд. Вопрос состоит в том, как лучше организовать их разведку, а потом — добычу.

Гидротермы имеют большое значение в геологии и химии

Мирового океана. Они — источник пищи для удивительных животных в глубоководных оазисах, и кроме того, они создают в глубинах рудные залежи ценных металлов. Однако в Мировом океане имеются и другие механизмы образования рудных залежей, например железомарганцевые конкреции и корковые руды. Предполагается, что гидротермы являются также важным фактором, определяющим химический состав вод океана в целом через цепочку природных взаимосвязей. Гидротермы влияют и на климат Земли.

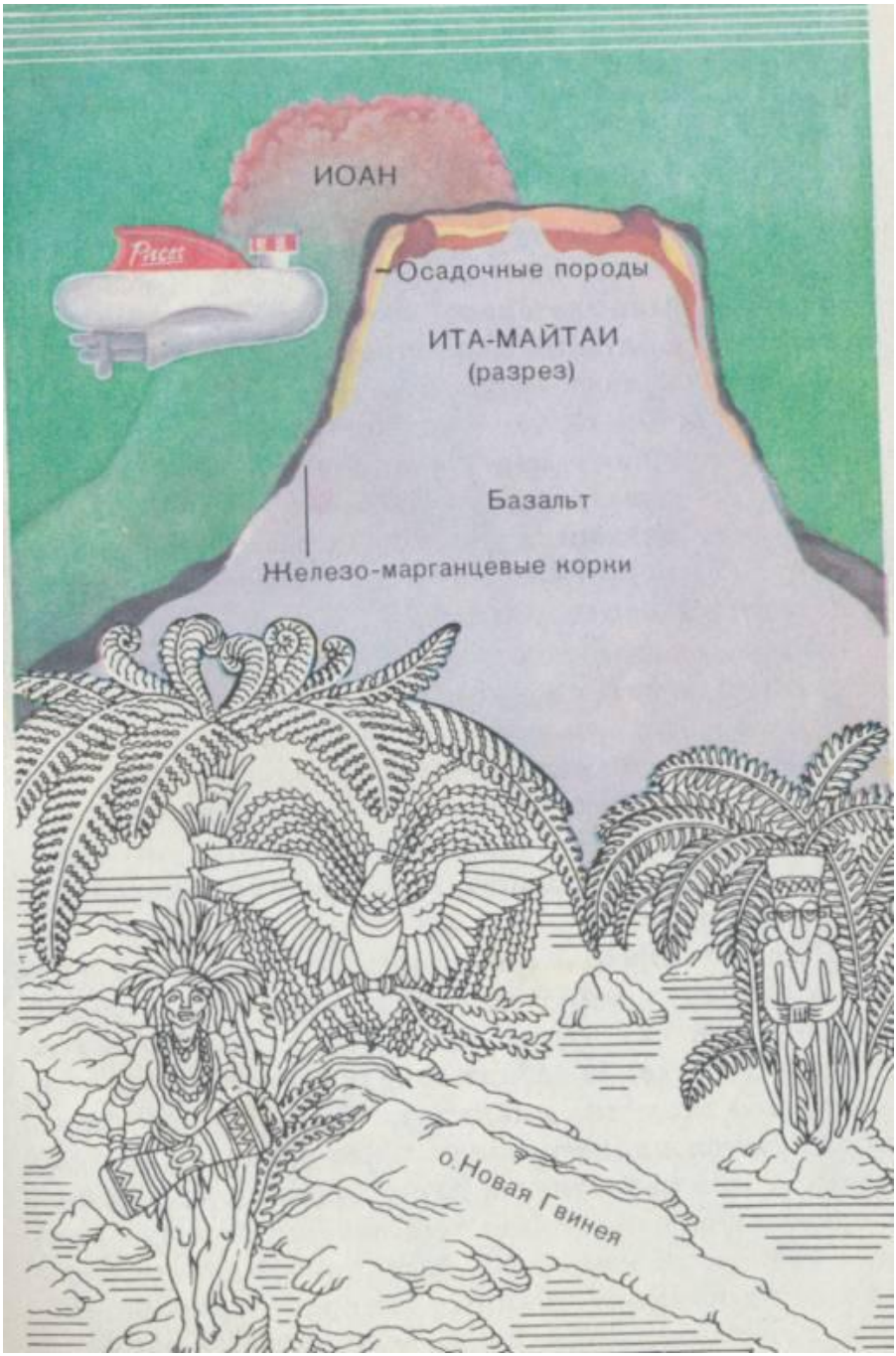
Где и как образуются корковые руды. В литосферных плитах на дне Мирового океана иногда происходят внутриплиточные вулканические извержения. Лава поднимается по отдельным относительно узким каналам, образующимся в океанской коре. Растекаясь вокруг центрального канала, она постепенно образует коническую «постройку», круглую или эллиптическую в сечении, с крутизной склонов от 5 до 35°, называемую подводной горой.

Подводные горы, как правило, вытянуты в цепи во внутренних частях литосферных плит, далеких от краев. На их вершинах часто образуются углубления, т. е. кратеры, где происходит излияние лавы. Если диаметр кратера больше 2 км, то он называется кальдерой. Часто встречаются подводные горы с плоскими вершинами. Они называются гайотами. Предполагают, что плоские вершины образуются при заполнении кальдер лавой через кольцевые каналы.

Гайоты представляют особый интерес: на их склонах обнаруживают ценные железомарганцевые руды с высоким содержанием кобальта. Они называются корковыми рудами.

Содержание кобальта в образцах корковых руд, найденных советскими специалистами на двух гайотах в Тихом океане, превышает 1 %. Это очень высокое содержание ценного металла. При такой концентрации один гайот может дать десятки миллионов тонн дефицитного металла. Поэтому корковые руды считаются одними из самых перспективных океанских руд.

Найти новый, никем не открытый и не показанный на картах гайот — большая удача. Это удалось ученым в 9–м рейсе научно — исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. В конце 1984 г. они нашли гайот в Тихом океане, в системе Магеллановых гор, находящихся в Восточно — Марианской котловине.



Новый гайот получил название гайота Института океанологии Академии наук СССР (гайот ИОАН). Он возвышается над поверхностью котловины более чем на 4500 м. неподалеку от гайота Ита — Майтаи, который имеет высоту больше 6 тыс. м, а его вершина располагается на глубине 1400 м. Обе подводные

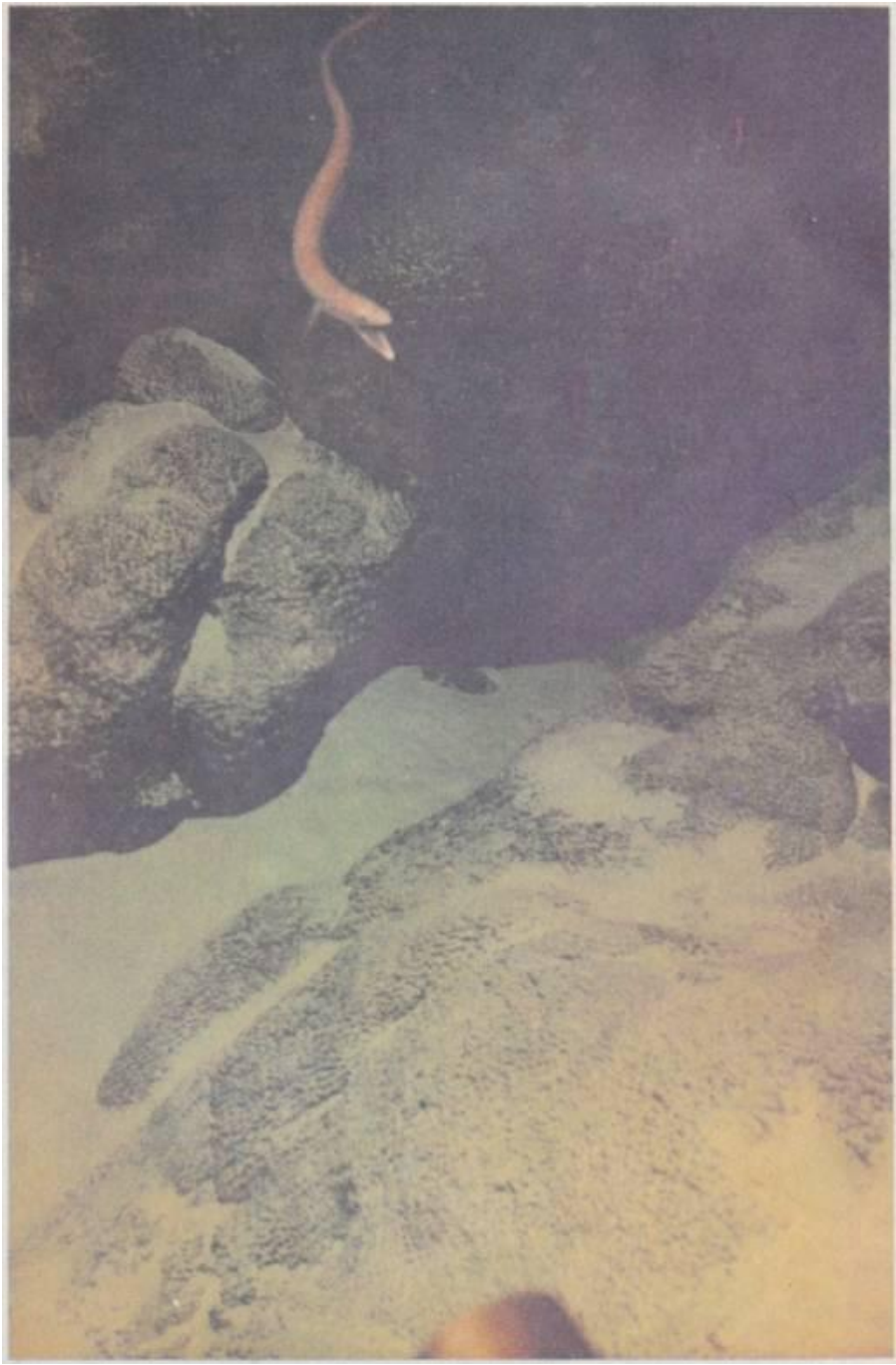
горы были детально обследованы с помощью подводных обитаемых аппаратов «Пайсис». Было сделано несколько маршрутов, по 5–6 ч каждый. Наблюдатель — геолог в подводном аппарате «идет» по геологическому маршруту почти так же, как он привык это делать на суше. Только образец породы он берет не руками, а с помощью манипулятора, да смотрит он через иллюминатор, на который давит вода с силой около 100 т.

На гайоте Ита — Майтаи в Тихом океане на глубине 1950 м манипулятором подводного аппарата «Пайсис» отбирается биологический образец: бесстебельчатые лилии, сидящие на горгоновом коралле.

Исследованные советскими учеными гайоты были островами и двигались вместе с литосферными плитами, на которых они возникли. В течение длительного времени происходило

медленное погружение этих островов, их склоны постепенно пересекали слой кислородного минимума. Предполагается, что это обстоятельство имело решающее значение для образования корковых руд.

Слой кислородного минимума образуется в океане на глубинах от 600 до 2000 м. Кислород здесь расходуется на окисление органики. В пределах этих глубин происходит разложение основной массы органического вещества планктона. Кобальт интенсивно поглощается планктонными животными из морской воды. А при разложении планктонных организмов в слое кислородного минимума кобальт снова переходит в воду, обогащая ее. Здесь он и захватывается рудным веществом. Таким путем происходит обогащение формирующихся железомарганцевых корок не только кобальтом, но также никелем и медью.



Среди нагромождений железомарганцевых корок гайота Ита — Майтаи на глубине 1800 м аппарат встретил угря.

По наблюдениям советских ученых, рассеянные металлы могут концентрироваться лишь в том случае, если нерудные

компоненты, т. е. тончайшие частицы глинистых и обломочных минералов, в том числе нерастворимые остатки планктонных организмов, будут выноситься за пределы области накопления руды. Для этого необходимо подводное течение у дна со скоростью в пределах 3—30 см/с. Начало образования рудных корок на гайотах Ита — Майтаи и ИОАН произошло около 20 млн. лет назад. Геологи называют это время средним миоценом. Оно соответствует началу ледникового периода, с которым связано усиленное перемешивание воды в океане, увеличение биологической продуктивности океана, образование слоя кислородного минимума и начало широкого образования корковых руд на подводных горах.

На подводных горах Лайн и Маркус — Неккер, Ита-Майтаи и ИОАН обнаружены корковые руды более раннего возраста — около 100 млн. лет. Геологи объясняют это тем, что корки образовались во время пересечения горами экваториальной области, где биопродуктивность была высокой на протяжении более 100 млн. лет.

Для образования корковых руд на подводных горах необходимо совпадение целого ряда независимых факторов: наличие отлогих склонов, длительное нахождение их на глубинах слоя кислородного минимума, интенсивная циркуляция окружающих склоны придонных вод и др.

Изучение истории различных районов дна Мирового океана дает возможность планировать поиски гайотов с залежами ценных руд, поскольку образование руд зависит от геологической и физической истории подводных гор.

До открытия корковых руд наибольшее экономическое значение среди руд океана придавалось железомарганцевым рудам. Не потеряли своего значения они и теперь. Однако за редким исключением поля железомарганцевых конкреций лежат на средних и больших глубинах океана — от 4 до 5–6 тыс. м. Промышленная добыча конкреций с таких глубин трудна. Нужны специальные суда. Использование этих конкреций — ближайшая перспектива для металлургии.

Корковые руды на склонах гайотов находятся на глубинах от 200–300 до 2500 м. Поэтому добывать их будет легче. И это перспектива не столь отдаленного будущего. Для этого нужна особая техника.

Почему не тонут конкреции? На дне океанов имеются гигантские залежи конкреций. Они оцениваются примерно в 2–3 трлн. т. В среднем конкреции содержат: марганца — 25 %, железа — 14 %, никеля — 1,9 %, меди — 0,5 %, кобальта — 0,4 %, в небольших количествах свинец, радиоактивные, рассеянные и

редкие элементы (см. рис. на с. 100). Запасы некоторых химических элементов в конкрециях во много раз превышают разведанные запасы на суше. Плотность конкреций колеблется в пределах 1,91—1,95 г/см^3. Конкреции лежат на слое жидкого ила с плотностью от 1 до 1,4–1,6 г/см^3, но не тонут, а как бы плавают. Но плавать они не могут! Ведь они значительно тяжелее жидкого ила. Вспомните закон Архимеда. Спрашивается: почему же они не тонут?

В ил конкреции часто погружены не полностью. Поэтому верхние части их бывают окружены морской водой, плотность которой, как известно, не превышает 1,033 г/см^3. Следовательно, выталкивающая сила еще меньше по сравнению с той, которая была бы при полном погружении конкреций в ил. Но конкреции устойчиво держатся на поверхности ила.

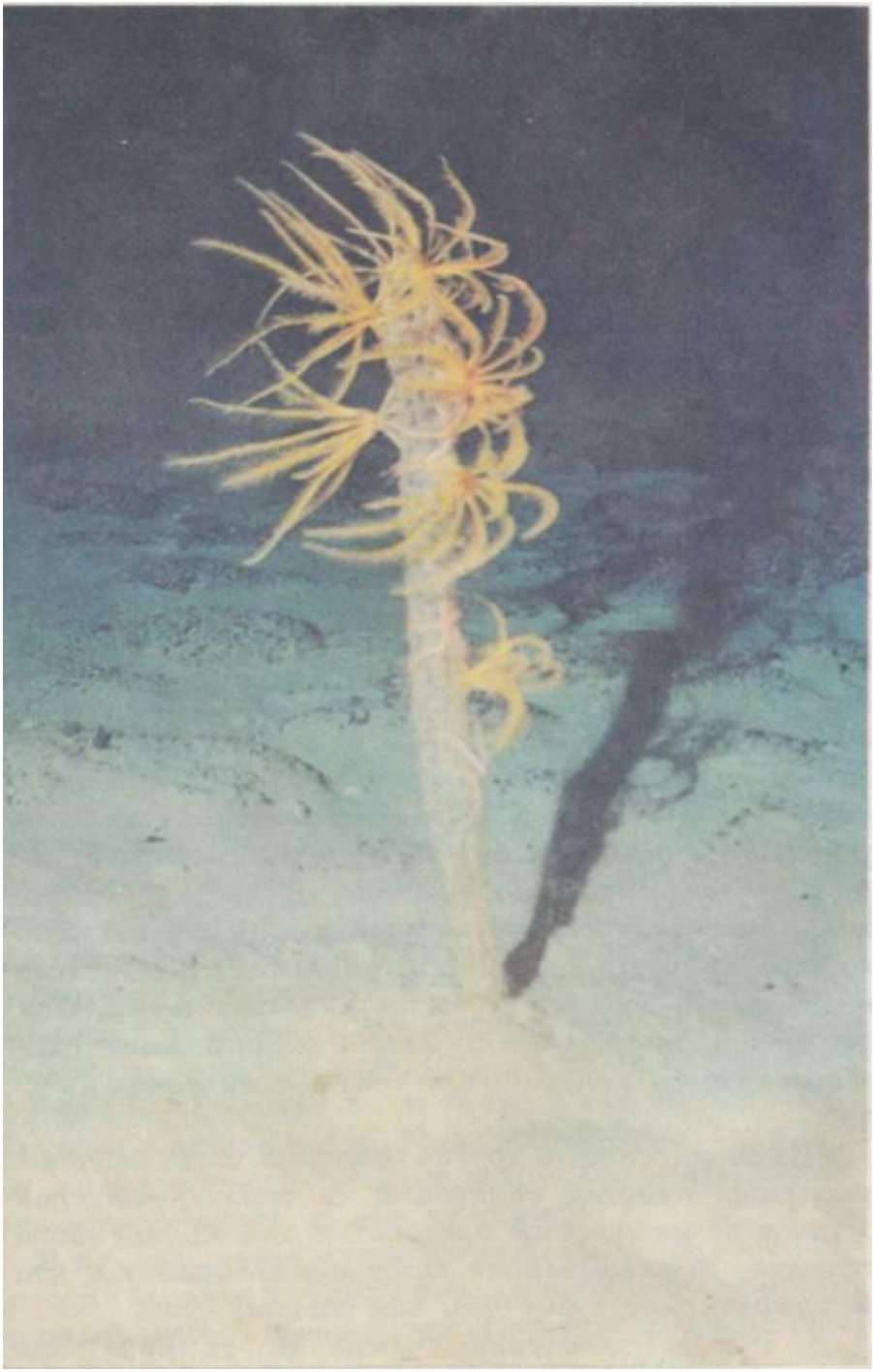
Удивление вызывает еще одно обстоятельство. Скорость роста конкреций в океане очень мала — всего несколько миллиметров в миллион лет, а скорость образования осадков на дне океана примерно в тысячу раз больше — миллиметры за тысячу лет. Поэтому конкреции должны были бы давно скрыться под слоем осадков толщиной во много метров. Но этого не произошло. В чем же дело? Как объяснить столь странную «непотопляемость» конкреций?

Есть несколько гипотез, объясняющих столь необычное явление в Мировом океане.

Одна из гипотез объясняет странное поведение конкреций деятельностью донной фауны. Предполагается, что животные, ползающие по дну, все время выталкивают конкреции на поверхность донных осадков. Или тем или иным способом сгребают осадки с верхних частей конкреций, сталкивая осадки вниз. Согласно этой гипотезе, бентосные животные должны непрерывно работать, как бульдозеры.

Имеются и другие гипотезы. Например, гидродинамическая, согласно которой конкреции постоянно перекатываются и переворачиваются придонными течениями и поэтому остаются на поверхности. Сейсмическая гипотеза предполагает встряхивание и переворачивание конкреций за счет сейсмических явлений.

Предполагались и другие гипотезы, связывающие, например, очистку конкреций со сползанием слоя осадков по наклонным плоскостям дна за счет силы тяжести. Высказывались даже предположения, что конкреции растут быстрее, чем осадки!



На глубине 1650 м, на уже отмершей стеклянной губке поселились лилии. Они поднялись повыше от дна, где сильнее течение и где больше питательных веществ. Гайот ИОАН, Тихий океан.

В 1983 г. советские ученые И. Н. Горяйнов, и Г. И. Горяйнова объяснили «непотопляемость» конкреций особым физическим свойством жидкого ила. Они считают, что жидкий ил обладает не только вязкими свойствами, но также и некоторой упругостью. Частицы ила, сцепленные между собой, образуют под конкрециями подобие упругой сетки. Она-то и выталкивает конкреции на поверхность илового слоя. Приводятся расчеты, показывающие механизм взаимодействия конкреций с твердыми частицами жидких илов: уже при концентрации глинистых частиц в 0,5–1 % могут образовываться агрегаты в виде цепочек, постепенно образующие трехмерную сетку, которая обладает эластичными свойствами. Аналоги — полимеры, т. е. пластики с гибкими цепями молекул. Нижняя часть конкреции, лежащая на подобной сетке и несколько вдавливающая ее собственным весом, испытывает большее давление со стороны частиц сетки, чем верхняя часть. Ведь верхняя часть не касается сетки и подвержена только гидростатическому давлению. Вывод: невидимая сетка поддерживает конкреции над слоем ила.

Но не всегда конкреции лежат на поверхности слоя осадков. Некоторые все-таки проваливаются в ил. Поэтому кое — где на дне океана имеется несколько слоев конкреций, иногда до четырех — пяти слоев.

Почему так происходит? Точно не известно. Может быть, это связано с высокой скоростью осадкообразования. Не везде в океане слой осадков увеличивается со скоростью 1 мм в тысячу лет. Есть районы, где в год прибавляется 1 см, а иногда — и 10 см осадков. Может быть, при такой большой нагрузке конкреции все-таки притапливаются?

Возможно, погружение конкреций в ил связано с уменьшением упругости иловой сетки. Или полной потерей, исчезновением сетки? Такое может случиться, если слой ила почему-либо затвердеет или подводное течение вымоет его из-под конкреций. Вывод: пока ил вязкий, он поддерживает конкреции, а как затвердел, конкреции заносит новыми порциями ила. Все это не более чем гипотезы.

Не все океанологи согласны с описанным механизмом непотопляемости конкреций. Некоторые ученые думают, что они не тонут в слое ила благодаря тому, что их изредка встряхивает подъемная сила, вызванная гидродинамическим ускорением. Как теперь стало известно, оно может возникать благодаря турбулентности придонных потоков, образующихся на больших глубинах океана.

Гидротермы и климат Земли. Гидротермы выделяют большое

количество углекислого газа. Он поступает в атмосферу из гидротермальных струй. Обогащение атмосферы углекислотой приводит к «парниковому» эффекту, что делает климат Земли более теплым и влажным. Повышенное содержание углекислого газа в атмосфере действует так же, как пластиковая пленка над парником. Через нее к Земле проходят лучи Солнца. А тепловые потери за счет собственного инфракрасного излучения Земли значительно уменьшаются, так как углекислота задерживает инфракрасные лучи. Поэтому на поверхности Земли становится теплее, как в парнике под пленкой.

Именно так было в эпоху кайнозоя, в период между ранним и средним эоценом, т. е. 55–45 млн. лет назад. В этот промежуток времени, в течение примерно 10 млн. лет, на Земле удерживался очень теплый и влажный климат. Он способствовал буйному развитию растительности.

Выделение больших количеств углекислоты в этот период американские ученые связывают с перестройкой срединно — океанических хребтов и других спрединговых центров, благодаря чему увеличилась гидротермальная активность. Как следствие — резко возросло выделение углекислого газа, возник глобальный «парниковый» эффект. Отмечены и другие периоды перестройки тектонических структур и вызванные этим изменения климата. Однако эти связи в других случаях прослеживаются менее четко. В наши дни выход углекислого газа в атмосферу за счет гидротерм составляет 14—2 2 % общего поступления. Эти цифры достаточно велики. Но не все ученые согласны с выводами американских ученых.

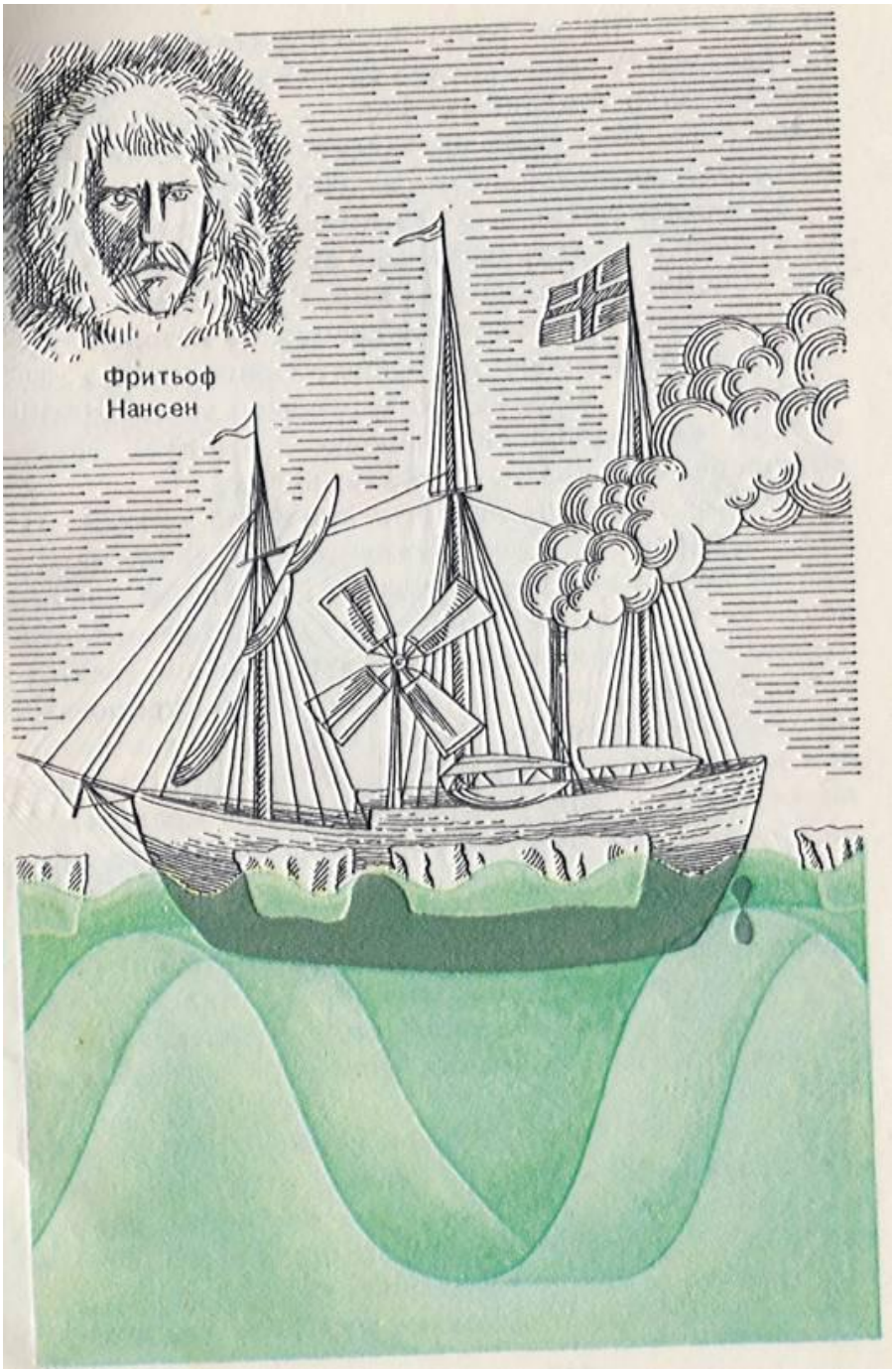
Углекислый газ в гидротермах образуется в результате химической реакции. Выделение его определяется реакцией обмена между ионами магния, содержащимися в соленой воде, и ионами кальция, вымываемыми из горячей базальтовой породы. Извлекаемые оттуда ионы кальция образуют $CaCO_3$ и выпадают в осадок — это мел. Одновременно выделяется углекислый газ, поступающий сначала в воду, а потом в атмосферу.

Мертвая и живая вода

Внутренние волны. Вот какой удивительный случай произошел однажды с Ф. Нансеном на "Фраме".

При подходе к кромке льда вдруг резко замедлился ход судна. Машина работала на полных оборотах, а «Фрам» едва двигался. Как будто его кто-то удерживал. Небольшое расстояние до кромки льда судно шло дольше, чем шлюпка под веслами… А вокруг была глубокая чистая вода, не считая отдельных небольших льдин на поверхности. Никаких видимых препятствий для движения. В чем же дело?

Происшествие это случилось во время экспедиции Ф. Нансена в высокие широты Арктики. В этой экс педиции было сделано много открытий: опровергнуто мнение о мелководности Северного Ледовитого океана, исследована структура и происхождение его водных масс, открыто влияние вращения Земли на движение льдов и др. В том числе обнаружено явление мертвой воды. Явление это впервые изучалось братьями Холлами еще в 1830 г. Теоретически оно было обосновано норвежским ученым Б. Экманом незадолго до экспедиции Ф. Нансена. Но до случая с «Фрамом» никто не думал, что мертвая вода может иметь такую силу.



Впрочем, неожиданные торможения движения судов в открытом море были известны и раньше. Парусные суда под действием мертвой воды сбивались с курса и переставали слушаться руля. Мореплаватели обвиняли в этом рыбу —

прилипалу, будто бы присосавшуюся к днищу судна и способную тормозить его ход.

Эффект мертвой воды объясняется затратой энергии машины судна на образование и преодоление внутренних волн. Они возникают на границе раздела двух слоев воды с разной плотностью, так же как обычные поверхностные волны, которые образуются на границе раздела вода — воздух. Их хорошо видно благодаря отражению света от поверхности волн. Мы любим наблюдать за их бегом, следя за появлением «девятого» вала. Кстати, физики до сих пор спорят, есть он или нет.

С наблюдением за внутренними волнами дело обстоит гораздо сложнее. Они невидимы.

В 7 ч 30 мин 10 апреля 1963 г. американская атомная подводная лодка «Трешер» начала глубоководное погружение в Атлантическом океане в 220 милях от Бостона. На ее борту кроме штатного экипажа находились 17 гражданских специалистов — представителей промышленных фирм и завода — строителя. Цель погружения — проведение испытаний лодки на предельной глубине — до 360 м.

Командир лодки был обязан по гидроакустическому каналу выходить на связь с обеспечивающим судном «Скайларк» каждые 15 мин. В 9 ч 17 мин «Скайларк» принял последнее сообщение, из которого удалось разобрать только два слова: «…предельная глубина…» После чего на судне услышали шум, оцененный как разрушение прочного корпуса лодки. «Трешер» затонула на глубине 2800 м.

Ученые предполагают, что причиной гибели подводной лодки стали внутренние волны. В тот день в районе испытаний свирепствовал циклон. Он мог вызвать внутренние волны. Известно, что метеорологические явления вызывают генерацию внутренних волн. Позднее в этом районе были зарегистрированы мощные внутренние волны высотой до 100 м и периодом колебаний около 8 мин. Такие волны легко могли «затащить» лодку на глубину ниже предельной, на которую был рассчитан ее прочный корпус.

В 1969 г. во время подводного плавания на мезоскафе «Бен Франклин» в Гольфстриме руководитель экспедиции Жак Пикар отметил, что внутренние волны периодически поднимали «Бен Франклин» вверх на 30 м и тут же без какого-либо вмешательства со стороны экипажа опускали мезоскаф за несколько минут на 50 м вниз.

Превышение максимальной глубины погружения «Трешера» на 50 м, т. е. на глубину 410 м, при весьма напряженных нормах расчета на прочность, принятых в США, естественно, привело к

катастрофе. Попросту говоря, не хватило запаса прочности.

Советские ученые отмечают еще одну возможную причину: циклон вызвал сильное вихревое движение вод океана в районе

погружения, что способствовало интенсивному перемешиванию верхнего слоя океана. В результате теплая вода (более легкая) из верхнего слоя могла быть затянута вниз. Если «Трешер» неожиданно попал в слой теплой воды вблизи предельной глубины, то он мог попросту провалиться ниже максимально допустимой отметки. Экипаж не успел продуть балластные цистерны.

Известны и другие физические процессы, которые угрожают целости подводных кораблей. Примерно в то же время погибла французская подводная лодка. В северо — западной части Средиземного моря она, видимо, попала в особый участок моря, где был «колодец». Так теперь иногда называют большое пятно на поверхности моря с холодной водой. Температура воды на поверхности «колодца» близка к температуре воды у дна. Может быть, даже чуть — чуть ниже, а соленость выше из-за усиленного испарения воды с поверхности моря под влиянием ураганного ветра. В результате нарушается устойчивость: плотность воды у поверхности «колодца» становится выше плотности нижележащих слоев.

Поверхностная вода начинает опускаться вниз, на дно. Образуется конвективная ячейка, называемая глубокой конвекцией. Иногда образуется гигантский подводный водопад. Подводному судну, попавшему в такой поток, грозит гибель — его неминуемо унесет в глубину, где корпус его будет раздавлен повышенным гидростатическим давлением. Это явление очень мало изучено. Необходимо выяснить условия, вызывающие его образование. Ведь известно, например, что снежные лавины срываются иногда с гор из-за самого слабого звука. Может ли вход подводной лодки в зону проникающей конвекции вызвать обрушение? Это одна из загадок Мирового океана.

Давно ушли в прошлое времена, когда капитан Немо погружался на своем «Наутилусе» в тихие глубины океана от всех земных горестей. Мировой океан оказался куда сложнее, чем он представлялся раньше. Для безаварийного плавания в его глубинах требуется не только постоянная бдительность, но и новые приборы, которые предупреждали бы штурманов о разных сюрпризах. Но вернемся к внутренним волнам.

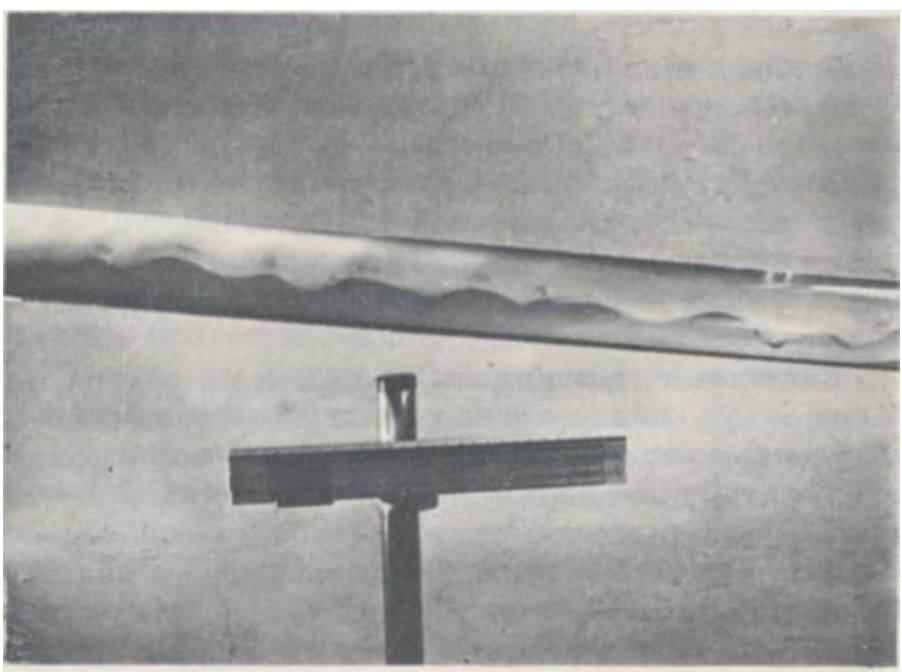
В обычных условиях мы не можем их видеть. Но в школьном кабинете физики или даже дома можно поставить опыт с подкрашенной водой, что позволит наблюдать внутренние волны. Для этого надо иметь стеклянную (или пластиковую) трубку диаметром 4–5 см, длиной около 1 м. Один конец трубки должен быть запаян или заклеен. Впрочем, его можно плотно закрыть пробкой. Надо еще иметь и вторую пробку для закрывания

другого конца трубки в ходе опыта.

Поставьте трубку наклонно на стол (закрытым концом вниз) и налейте в нее очень соленой воды примерно на $^1/_3$ высоты. Ее надо приготовить заранее, растворив 200–250 г. поваренной соли в 1 л воды.

А теперь долейте в трубку пресной воды, подкрашенной какой-нибудь краской, примерно до $^2/_3$ ее высоты. Доливать воду надо так осторожно, чтобы струи подкрашенной воды не проникали в столб соленой воды (воду надо лить очень медленно, может быть, даже несколько увеличить наклон трубки). Когда вся подкрашенная вода будет вылита в трубку, закройте пробкой ее верхний конец и медленно переведите трубку в вертикальное положение. А потом быстро наклоните ее до горизонтального положения. Во время наклона трубки вы увидите, как побегут внутренние волны между слоями двух переливающихся жидкостей.

Это — красивый опыт. Волны можно даже успеть сфотографировать. Подобная фотография приведена на рисунке на с. 114. Вместо соленой воды можно взять какое-нибудь жидкое масло, например трансформаторное или силиконовое. Для успеха опыта не так важен химический состав жидкостей, как разность их плотностей. При использовании масла в качестве одной из жидкостей, вторую подкрашивать не требуется.



Фотография внутренних волн, образовавшихся в стеклянной трубке.

Подобным способом в лаборатории можно моделировать явление образования внутренних волн, имеющее в наше время большое значение. Опыт позволит легче понять механизм неожиданного торможения «Фрама». В том участке Арктического бассейна, где это произошло, в поверхностном слое океана скопилась пресная вода от растаявших льдов. Она легче соленой, поэтому и осталась сверху. Образовалась слоистая структура вроде слоеного пирога.

Наличие слоистой структуры — обязательное условие для генерации внутренних волн. Океанологи в таких случаях говорят об устойчивой стратификации океана. Без нее внутренние волны невозможны. Устойчивая стратификация означает, что слои воды находятся в механическом равновесии.

Движение судна дало механический импульс, заставивший закачаться зыбкую границу между двумя слоями воды. На ней образовались волны, похожие на те, что мы наблюдаем на поверхности, когда бросаем в воду камешек. От места падения камня по поверхности воды разбегаются кольцевые волны. То же произошло и в данном случае, только волны пошли не на поверхности, а в глубине, на подводной пограничной плоскости между двумя слоями. «Фрам» выполнил роль камешка, точнее — его носовая волна. Она вывела частицы воды из равновесия.

Амплитуда возникших внутренних волн обычно гораздо больше поверхностных. Это происходит благодаря меньшей разности в плотности между соленой и пресной водой по сравнению с разностью в плотности между любой водой и воздухом. Сила тяжести для частиц воды во внутренних волнах играет роль восстанавливающей силы: она направлена вниз — когда частицы находятся выше положения равновесия, вверх — когда они вследствие инерции опустились ниже положения своего равновесия (до возмущения).

Гребень внутренней волны оказался достаточно высоким и достиг киля «Фрама». Чтобы двигаться вперед, судну пришлось как бы толкать внутреннюю волну перед собой. Гидродинамики в таком случае говорят о преодолении волнового сопротивления. А на это нужно много энергии. Мощности машины «Фрама» не хватило, чтобы «оторваться» от волны. В результате скорость судна резко упала. Падение скорости особенно велико, если скорость движения судна совпадает со скоростью распространения внутренней волны.

Исследования последних лет показали, что внутренние волны

в Мировом океане встречаются столь же часто, как и поверхностные волны. Механизмы генерации внутренних волн весьма разнообразны: колебания атмосферного давления, скорости ветра, обтекание неровностей дна, подводные землетрясения, приливообразующие силы и другие факторы. В Гибралтарском проливе обнаружены внутренние волны высотой около 200 м!

Расширились наши знания и о возможностях внутренних волн, о различных явлениях, которые они могут вызывать. Установлено, например, что внутренние волны могут не только тормозить движение надводных судов, но иногда и раскачивать их. Внутренние волны турбулизируют толщу океана, что затрудняет связь по акустическому каналу. Они могут размывать подводные склоны, вызывать оползни, взмучивать воду, вызывать течения на поверхности и производить другие эффекты. Словом, с ними необходимо считаться.

Изучение внутренних волн. Как определить, есть внутренние волны в океане или нет? Точно ответить на этот вопрос не так-то просто. О внутренних волнах известно еще очень мало, и любая получаемая из космоса информация о них имеет исключительную ценность. Чем больше у нас будет фактических данных, тем проще определить закономерности появления динамических эффектов в акваториях и их последствия. С помощью орбитальных аппаратов удается в короткие сроки осмотреть весь земной шар.

Спутник передает не только фотографии, но и сведения о температуре отдельных участков океана, направлении и скорости ветра у воды и другую информацию.

Существенную роль играет визуальный контроль с судов и самолетов. Внутренние волны образуют на поверхности океана слики. Так называются выглаженные области поверхности, отличающиеся по оптическим свойствам от окружающей воды. Речь идет о полосах и пятнах на поверхности морей и океанов, резко отличающихся по своему виду от соседних участков. Причем дело не только в изменении оптических свойств, но также и в изменении механических характеристик поверхности. Сликовые пятна и полосы выглажены, т. е. на них приглушено волнение. Поэтому они хорошо выделяются на фоне окружающей их взволнованной поверхности воды. Факт связи появления сликов с внутренними волнами в основном установлен. Однако слики могут образовываться и под влиянием других факторов. Появление сликов может вызвать пленка нефти или иных поверхностно — активных веществ. Слики получаются при образовании водоворотов и циркуляций Ленгмюра (особого вида

поверхностных волн).

Еще один способ контроля — наблюдение за распределением пены и водорослей на поверхности воды. Они могут собираться на линиях конвергенции. Действие поверхностно — активных веществ вызывает гашение коротких поверхностных волн и образование сликов, что и затрудняет контроль.

Более надежен инструментальный способ контроля. Имеются измерительные приборы, позволяющие достаточно точно судить о присутствии внутренних волн в океане и определять их характеристики. Один из самых простых и надежных — антенна К. Д. Сабинина. Основная часть прибора — антенна, длинный кусок изолированного кабеля с грузом на нижнем конце. Верхний конец кабеля крепится к буйку, плавающему на поверхности, и соединяется с судном. Можно спускать антенны не с буя, а прямо с борта научно — исследовательского судна, подобные измерения производить и на ходу судна. В этом случае вместо простейших антенн необходимо использовать более сложные измерительные системы, называемые термокосами (несколько десятков преобразователей, т. е. датчиков температуры, укрепленных на общем кабеле через равные расстояния по вертикали). Таким образом, при регистрации на ходу несколько усложняется обработка получаемых записей. На судне находится обрабатывающая (ЭВМ) и регистрирующая аппаратура.

Информация о внутренних волнах получается путем регистрации колебаний электрического сопротивления. При прохождении внутренних волн электрическое сопротивление антенны или датчиков периодически изменяется благодаря колебаниям температуры. Под влиянием внутренних волн изотермы вместе с массами воды океана совершают колебания в вертикальной плоскости. Холодные и теплые слои океана периодически поднимаются вверх или опускаются вниз от своего обычного положения равновесия с частотой внутренних волн. Конечно, длина кабеля — антенны или термокосы по вертикали должна быть не меньше высоты внутренних волн в слое, где они регистрируются, да еще необходимая «притравка», чтобы достигнуть этого слоя.

Известны и другие приборы для измерения параметров внутренних волн. Доставить приборы в район измерений не всегда просто, но всегда дорого. Ведь для этого надо послать научно — исследовательское судно. И не всегда это можно сделать быстро. Самый современный и наиболее оперативный способ получения информации о внутренних волнах — исследование поверхности океана из космоса.

Наблюдение за внутренними волнами из космоса дает

возможность быстро получить информацию о подводных штормах в разных районах Мирового океана. Это очень важно. Развитие подводного судоходства требует знания подводной погоды в океане. Предложены, например, подводные танкеры (значительно экономичнее обычных) для перевозки больших количеств нефтепродуктов. Высокие внутренние волны могут повредить их. При добыче подводных руд также, видимо, придется считаться с возможным воздействием мощных внутренних волн. Детальное изучение природы внутренних волн требует применения одновременно с космическими методами и корабельных средств.

О частоте внутренних волн. Одна из особенностей внутренних волн — низкая частота колебаний. Обычно она составляет малые доли герца. Поэтому удобнее говорить не о частоте их колебаний, а о длительности периода. В зависимости от условий он чаще всего изменяется в пределах от нескольких минут до многих часов. Например, период колебаний самых больших внутренних волн в Гибралтарском проливе — более полусуток.

Частота внутренних волн в основном зависит от градиента плотности. Он может изменяться в широких пределах. Пропорционально квадратному корню из его значения изменяется и частота образующихся внутренних волн. Например, для внутренних волн с периодом 8 мин (т. е. 480 с), наблюдавшихся в районе гибели «Трешера», частота равна около 0,002 Гц при градиенте плотности, примерно равном $6{,}4 \cdot 10^{-4}$ г/см^4.

Давно известны были и более короткие внутренние волны с периодом 5 и даже 2 мин. А сравнительно недавно было опубликовано сообщение об обнаружении внутренних волн с периодами около 1 с и даже короче — десятые доли секунды. Такие волны первоначально были зарегистрированы, как сообщается, на морских экспериментальных станциях Тихоокеанского океанологического института Дальневосточного научного центра Академии наук СССР в бухте Витязь и на острове Попова в Японском море. Они были обнаружены летом 1982 г. в Средиземном море во время первого рейса научно — исследовательского судна «Академик А. Несмеянов».

14 июня 1982 г. на одной из станций в Средиземном море на глубинах от 15 до 25 м при штилевой погоде было получено много записей внутренних волн с периодами от 56 до 0,5 с. А на пределе разрешения применявшейся приемной аппаратуры были даже отмечены волны с периодом всего 0,3 с. Наиболее четкими и часто повторяющимися оказались записи внутренних волн с периодом 2 с. Они шли отдельными цугами («пакетами»). Распространение отдельными «пакетами» различной

длительности — одна из особенностей, характерная и для ранее известных более низкочастотных внутренних волн. Они редко ходят более или менее непрерывными порядками, как поверхностные волны. С этой стороны ничего особенного нет. Тут удивительно другое. Чтобы частота внутренних волн имела порядок 1 Гц, согласно формуле Вяйсяля — Брента, градиент плотности в слое их распространения должен быть больше взятого в предыдущем примере в 230 тыс. раз. Следовательно, он должен быть 147 г/см^4, что практически невозможно.

Одновременно с регистрацией необычных внутренних волн производились многократные исследования толщи моря с помощью измерительного комплекса «Исток». Это один из лучших отечественных приборов такого типа. «Исток» позволяет получать профили распределения по вертикали температуры и электропроводности, а по ним вычислять распределение солености и плотности. Но прямого распределения плотности он не дает.

Измерения показали, что наблюдаемые градиенты плотности явно недостаточны для появления таких короткопериодных внутренних волн. Дело в том, что пространственное разрешение «Истока» в поле электропроводности по вертикали не менее 1 м. Поэтому он не мог дать вполне точную информацию о слое, где производились измерения внутренних волн, из-за неизбежного усреднения.

Это обстоятельство связано с особенностями конструкции преобразователя электропроводности зонда "Исток". Для решения подобной задачи нужен измеритель электропроводности морской воды с более высоким пространственным разрешением. Подобным качеством обладают преобразователи контактного типа.

На профилях плотности, приведенных в цитируемом сообщении и построенных по данным измерений с помощью «Истока», имеется инверсия. Термин этот означает, что с увеличением глубины в некоторых местах по вертикали плотность воды в море не возрастает, а уменьшается. Следовательно, здесь имеются слои воды с отрицательным градиентом плотности. Равновесие подобных слоев в морю неустойчиво. С этим явлением автор сообщения и связывает образование странных волн с периодами около 1 с и более.

Неизвестно, правда, чем объяснить появление еще более короткопериодных внутренних волн.

Микро- и макроструктуры

Неизвестное перед глазами. На это неизвестное долго не обращали внимания. Попросту не замечали, что было связано с недостаточно совершенной техникой и методами измерения. Новые измерительные приборы, как правило, позволяют получить и новые результаты. Иногда новые результаты дают давно известные приборы, примененные по новой методике. Речь идет о тонкой микроструктуре в полях температуры, солености и плотности самого верхнего слоя воды в океане (в первом десятке метров, считая от поверхности вглубь).

Начнем с температуры. Как измеряли температуру воды в этом слое? Главным источником информации долгое время служили данные стандартных гидрологических серий. Так называется способ измерения температуры воды с помощью опрокидывающихся термометров. Термометры в особой оправе прикрепляются к тонкому стальному тросу и опускаются в воду с помощью судовой лебедки. По достижении заданной глубины лебедка останавливается. Производится выдержка в течение 5 мин, после которой с палубы судна по тросу посылается маленький грузик. Он так и называется — посыльный. Грузик падает вдоль троса, достигает оправы первого термометра и ударяет по спусковому рычажку.

В результате удара грузика оправа с термометром переворачивается на 180°. Термометр опрокидывается «вверх ногами». Ртутный столбик в нем обрывается. Ртуть переливается в другой резервуар на противоположном конце термометра. Количество перелившейся ртути соответствует температуре воды в точке измерения. Так фиксируется температура воды на той глубине, где находился термометр.

Опрокидывание — своеобразный способ сохранения информации, придуманный в то время, когда не было современных способов регистрации.

Несколько опрокидывающихся термометров, привязанных к одному тросу, составляют гидрологическую серию приборов. Чтобы зафиксировать показания второго термометра, его тоже необходимо опрокинуть. Эту задачу выполняет второй посыльный грузик. Он отрывается от нижней части оправы первого термометра в момент его опрокидывания. Падая вдоль троса вниз, второй грузик достигает второго термометра и в свою очередь ударяет по спусковому рычажку. Снова оправа переворачивается вместе с термометром. После чего отрывается третий грузик и движется по тросу в глубину к третьему

термометру.

Процесс повторяется столько раз, сколько термометров в серии. Это — классическая техника изучения океана, нередко применяющаяся еще и в наше время. Ее преимущество — надежность. Одновременно с измерением температуры определяется соленость вод океана. Для этой цели на тросе укрепляются батометры (цилиндрические сосуды с двумя крышками по концам). При спуске крышки открыты. Они герметично закрываются с помощью посыльных грузиков, и в батометрах оказываются пробы воды с исследуемых горизонтов. После подъема пробы воды анализируются в судовой лаборатории.

Самый верхний термометр серии обычно укрепляется на тросе так, чтобы он оказался на глубине около 1 м после сматывания с барабана лебедки необходимой длины троса. Второй термометр — на глубине 8—10 м. Распределение термометров по глубине зависит от условий задачи.

Применение опрокидывающихся термометров для определения температуры воды в верхнем десятиметровом слое не лучший способ измерения. Особенно это относится к первому термометру. Нередко он выскакивает из воды — судно-то ведь качается! Размахи бортовой качки бывают достаточно велики — метр и более. Так что показываемая термометром цифра является некоторым средним значением температуры для слоя воды толщиной около метра, а иногда и больше.

Достаточно большие размеры чувствительного элемента термометра, т. е. его баллончика со ртутью, также вносят свою долю в осреднение измеряемой температуры.

Имеется еще один серьезный источник погрешностей при измерениях опрокидывающимися термометрами в верхних метрах океана. Согласно существующим правилам, спуск гидрофизических зондов всегда производится с наветренного борта судна. Поэтому верхний термометр всегда оказывается в слое перемешанной воды. Это замечание относится и ко 2–му термометру. Поверхностный слой воды океана перемешивается корпусом судна, как большой лопатой. Перемешивание происходит из-за ветрового дрейфа судна. Оно обычно дрейфует бортом, или, как говорят моряки, лагом. А осадка современных больших научно — исследовательских судов достигает 7 м. «Лопата» такого размера способна перемешать воду на глубину более 7 м. И тем самым сгладить физические неоднородности почти в десятиметровом слое. Корпус судна образует в нем дрейфовый след.

Перемешивание — причина, затрудняющая получение точной

информации о физических параметрах верхнего десятиметрового слоя океана. Опускать зонд с противоположного, подветренного борта нельзя — длинный трос с висящим на нем зондом может затянуть под киль судна. Это опасно: зонд может разбиться, а трос — намотаться на винт. Произойдет серьезная авария.

Данные гидрологических серий практически всегда показывали отсутствие каких-либо неоднородностей в поле температуры вблизи поверхности океана. В результате сложилось мнение, что верхний слой океана хорошо перемешан. Появился термин «верхний перемешанный слой океана». Он получил широкое распространение, но оказался далеко не всегда соответствующим истине.

Современный способ исследования физических параметров океана — применение зондов. Они начали широко использоваться в 70–е гг. Зонд — это комплексная измерительная система, одновременно измеряющая, как минимум, три основных параметра — температуру, электропроводность и давление воды. Такие зонды сокращенно часто называются «зонды СТД» (соленость, температура, давление).

Более совершенные зонды способны одновременно измерять еще и содержание кислорода, концентрацию водородных ионов или ионов многих других элементов, встречающихся в морской воде. Они были созданы для исследования глубоких слоев океана. Поэтому практически не могли дать новой информации о структуре верхних слоев океана. Почему?

Потому, что зонд на кабель — тросе можно опускать в океан только с наветренного борта. В верхнем слое толщиной около 10 м в момент входа в воду в датчиках зонда возникают переходные процессы, которые на некоторое время лишают их возможности правильного восприятия информации; в момент входа в воду сам корпус зонда вызывает перемешивание воды в верхнем слое воды; в момент входа корпуса зонда в воду, спускаемого лебедкой, возникает переходный процесс в установлении скорости его погружения; при входе в воду зонд может слегка раскачиваться, что искажает его показания.

В результате суммарного действия ряда причин самые лучшие зонды обычно начинают давать правильную информацию с глубины 6–8 м. По сравнению со средней глубиной океана цифры эти малы. Считалось, что обстоятельство это не имеет особого значения. Все же с помощью гидрофизического СТД-зонда была обнаружена тонкая структура в верхнем слое океана при дневном прогреве.

На основании этих измерений сложилось представление о том, что глубина слоя дневного перемешивания составляет

десятки метров, т. е. сравнима с глубиной сезонного однородного слоя океана. Но в рамках таких представлений не удалось объяснить суточные колебания температуры поверхности океана при слабых ветрах, достигавшие 1–2 °С.

Для таких ^больших колебаний температуры в слое толщиной в несколько десятков метров требуется приток тепла, в несколько раз превышающий максимально возможный поток за счет поглощения солнечной радиации. Но откуда ему взяться, этому таинственному потоку тепла?

И еще одно очень странное явление: в штилевую погоду на поверхности океана были замечены скачки температуры воды в 1–2 °С. Такие большие скачки показывали датчики температуры при буксировке их за судном на небольшой глубине. Они происходили через каждые 10—150 м, казалось бы, без какой-либо заметной закономерности.

Скачки эти получили название «горизонтальные неоднородности штилевой погоды», физическое происхождение которых, однако, нельзя было объяснить с точки зрения имевшихся представлений. По этому поводу было опубликовано несколько работ. Иногда наличие скачков температуры на поверхности океана отвергалось, но потом снова подтверждалось. Почему они возникали в штиль и на ходу? Вопросы эти долго оставались без ответа.

А однажды в верхних метрах океана было зарегистрировано повышение температуры воды на целых 3 °С. Зарегистрировано в дневное время, в штиль с помощью обрывного зонда.

Обрывной зонд катапультируется с судна. На плаву остается катушка, с которой сматывается тончайшая двухжильная хорошо изолированная проволока, соединяющая датчик температуры с регистрирующей аппаратурой на судне. А измерительная часть в виде маленькой торпедки с чувствительным датчиком температуры в лобовой части и второй катушкой такой же проволоки в хвостовой части уходит в глубину. Вся измерительная система функционирует несколько минут — до тех пор, пока торпедка не достигнет предельной глубины. Тогда происходит обрыв соединительных проводов. Но дело сделано — записан профиль температуры (график распределения в координатах глубина — температура). Обрывной термозонд — прибор однократного применения.

С помощью подобного прибора в дневные часы и был получен единственный профиль, отметивший повышение температуры в поверхностном слое. Он не отличался особой детальностью из-за относительно высокой постоянной времени датчика температуры (0,1 с).

Развитие учения о взаимодействии океана с атмосферой требовало более точной информации о физических процессах вблизи поверхности раздела. Скачки, пятна, неизвестно откуда берущийся мощный поток тепла, значительное превышение температуры — все это требовало объяснения. Может быть, все это — новые загадки океана?

Нет. Все дело в том, что известная аппаратура не годилась для точных измерений в приповерхностном слое океана.

В 1977 г. был создан всплывающий зонд, который помог провести детальные измерения микроструктуры тонкого приповерхностного слоя Атлантического океана. Применение нового метода позволило обнаружить и исследовать неизвестное ранее явление аномального прогрева тонкого слоя океана вблизи поверхности.

Многократными измерениями было установлено, что при скоростях ветра над океаном, не превышающих примерно 5 м/с в течение дневных часов, происходит рост температуры воды в поверхностном слое толщиной в несколько десятков сантиметров примерно на 1–2 °С. Увеличение температуры этого тонкого слоя происходит не одинаково по всей толщине, а распределяется скачками по еще более тонким слоям — порядка нескольких миллиметров.

Перепад температуры по вертикали, т. е. градиент, часто достигает 0,03—0,04 °С на миллиметр. В пересчете на 1 м градиент температуры составит 30–40 °С/м. Это очень большие цифры. Раньше такие данные получали только при измерениях в Красном море в глубоководных впадинах на дне, заполненных горячим рассолом.

Явление аномального прогрева тонкого поверхностного слоя океана вызвано поглощением лучей Солнца и резким ослаблением турбулентного перемешивания при слабом ветре (примерно до 5 м/с). При большей скорости ветра перемешивание усиливается и аномальный прогрев постепенно исчезает. Такая картина наблюдалась во всех обследованных районах Атлантического океана в пределах от экватора до 59° с. ш. Явление это изучалось во многих экспедициях, в том числе международных. С помощью измерений с искусственного спутника Земли было показано широкое распространение явления аномального прогрева тонкого поверхностного слоя в Ат лантическом океане и его связь с зонами слабых ветров.

Обнаружение аномального прогрева тонкого приповерхностного слоя океана позволило объяснить некоторые экспериментальные данные. Например, «горизонтальные неоднородности штилевой погоды», т. е. беспорядочные скачки

температуры, наблюдающиеся при буксировке датчика температуры за судном, возникают из-за того, что датчик идет на разных глубинах. Датчик как бы «прыгает». То он идет почти по поверхности, на небольшой глубине, где вода теплая, то чуть глубже, где вода холодная. Скачки в 1–2 °С соответствуют разности в температуре между поверхностным слоем воды толщиной в пределах 1–2 м и нижележащими слоями воды, обычно более холодными.

Практическое значение открытия аномально высокого прогрева поверхностного слоя океана заключается в том, что оно позволяет уточнить взаимодействие между океаном и атмосферой. Взаимодействие характеризуется потоками тепла, влаги и механических импульсов.

Сильный нагрев поверхности океана вызывает повышенное испарение. Оно приводит к образованию облачности над данным районом океана. Облачность уменьшает солнечную радиацию и приводит к уменьшению нагрева поверхности океана. Возникает обратная связь между явлениями на поверхности океана и в атмосфере. Ученые обратили внимание на особое влияние аномального прогрева на ход этого процесса.

Явление аномального прогрева тонкого поверхностного слоя в океане оказывает существенное влияние на распространение оптических сигналов в приповерхностном слое. За счет эффекта просветления происходит снижение коэффициента ослабления.

Ослабление — за счет увеличения рассеяния и рефракции света на микронеоднородностях с высокими местными значениями градиентов. Наличие аномального прогрева также, видимо, необходимо учитывать при расчете распространения акустических сигналов вблизи поверхности океана.

Наличие высоких градиентов плотности в области аномального прогрева обеспечивает плейстону — многочисленным морским животным, обитающим в верхних метрах воды, близ поверхности, необходимые жизненные условия. Личинки и яйца плейстонных жителей пользуются комфортом, возникающим при наличии слоев с большими градиентами. Как подводные лодки могут лежать в слое «жидкого грунта» в сезонном термоклине, так и члены плейстонного сообщества, несомненно, пользуются высокими градиентами приповерхностных слоев.

Всплывающий зонд подходит к месту исследования, т. е. к поверхностному 10–метровому слою, вполне готовым к проведению измерений. С этой целью перед пуском он выдерживается некоторое время на глубине около 11–12 м, что позволяет избежать отрицательного влияния процессов

переходного режима, к началу измерений они уже затухли.

При проведении измерений зонд подходит к исследуемому слою снизу. Вынесенные вверх датчики производят замеры в практически невозмущенной воде. Размеры датчиков малы. Например, датчик электропроводности позволяет исследовать структуру тонкого поверхностного слоя начиная с миллиметровых значений.

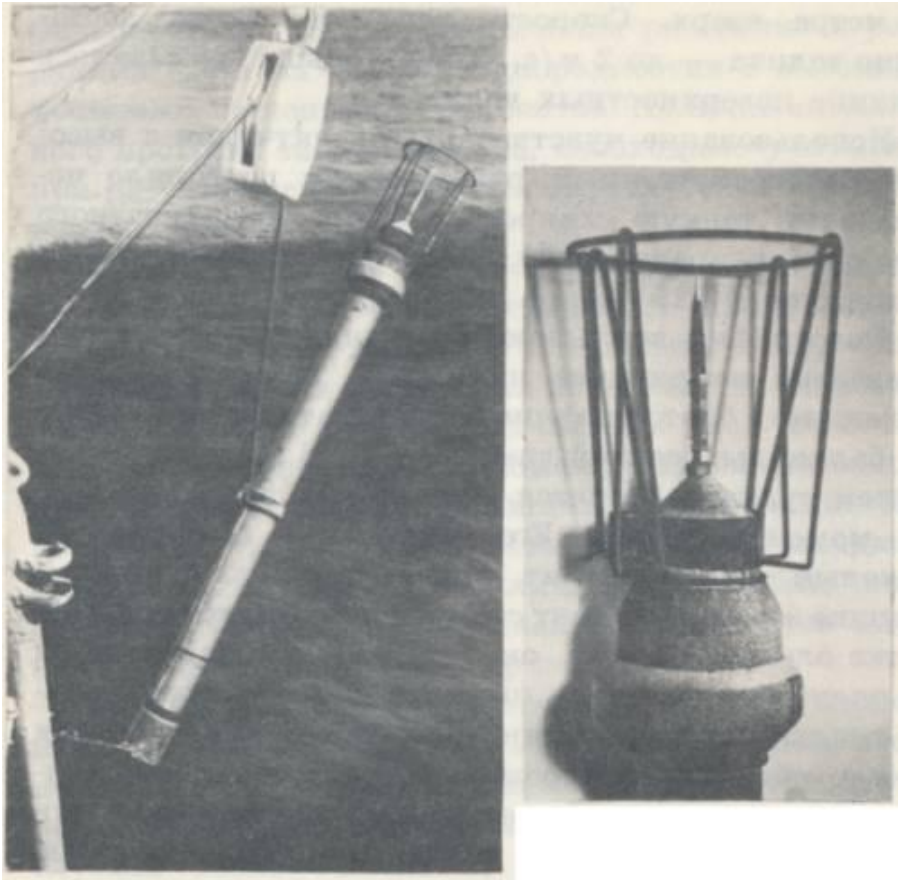
Зонд работает в режиме свободного всплытия. Поэтому на скорости его подъема не сказывается влияние качки судна. Скорость зонда быстро стабилизируется после его старта. Практически она становится постоянной уже после прохождения перво го метра вверх. Скорость всплытия зонда достаточно велика — до 2 м/с, чтобы меньше сказывалось влияние поверхностных волн.

Использование чувствительных датчиков с высоким пространственным разрешением позволило исследовать тонкую микроструктуру поверхностного слоя океана, практически избежав искажений во всем диапазоне ее изменений.

Фотография всплывающего зонда перед спуском приведена на рисунке на с. 132. Зонд опускается в океан не с бортов научно — исследовательского судна, а с балки, вынесенной вперед на 7–8 м перед форштевнем судна, и остается там, на глубине 11–12 м, до момента пуска. Его всплытию препятствует тяжелый электромагнит, притянувшийся к нижней крышке зонда. В момент старта выключается ток в обмотке электромагнита, он отпадает и вытаскивается на палубу на проводах питания. А зонд стремительно всплывает вверх. Одновременно с выключением тока в обмотке электромагнита включается осциллограф, на котором записывается информация, поступающая от датчиков зонда. Она идет на судно по тончайшим изолированным проводам, не мешающим всплытию зонда.

На рисунке с. 132 дана фотография верхней крышки зонда с одним из измерительных датчиков. В зависимости от задачи исследования применялись разные датчики.

Например, при исследовании теплового баланса тонкого поверхностного слоя океана использовался датчик температуры. Хорошие результаты давал платиновый пленочный датчик, обладавший постоянной времени в пределах 3 мс (постоянная времени — время, в течение которого показания прибора достигают 63 % истинного значения измеряемой величины). Исследования теплового баланса подтвердили: обнаруженное явление аномального прогрева вызвано дневным прогревом.



Всплывающий зонд перед окруженный защитным спуском в море. Верхняя часть всплывающего зонда. Виден датчик температуры, окруженный защитным ограждением.

В итоге измерений с всплывающим зондом можно считать твердо установленным, что при слабых ветрах в течение полуденных часов происходит рост температуры поверхностного слоя океана толщиной порядка нескольких десятков сантиметров. Относительно нижележащих слоев воды увеличение температуры может достигать нескольких градусов и сопровождается образованием микроструктуры в полях температуры и электропроводности. Физическая причина этого явления связана с поглощением солнечной радиации и резким ослаблением турбулентного перемешивания в поверхностном слое при слабом ветре.

Гашение турбулентных пульсаций скорости в подобных условиях подтверждено измерениями с помощью специального электромагнитного датчика. Он устанавливался на верхней крышке всплывающего зонда вместо датчика

электропроводности. В режиме всплытия он фиксировал турбулентные пульсации скорости в двух перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости либо только пульсации по вертикальному направлению, совпадающему с направлением всплытия. Эти записи важны для научных разработок необычного явления. Подобные исследования дают возможность оценить затухание турбулентной энергии в верхнем слое океана.

Подводные линзы. Эти структурные элементы в океане обнаружены относительно недавно. Своей формой они напоминают чечевицу, т. е. линзу. Вода в форме линзы в воде океана. Как же ученые отличают одну воду от другой? Да еще определяют форму?

Прежде всего по температуре — вода в линзах значительно теплее окружающей воды океана. И еще по солености — в линзах она заметно соленее.

Долго никому не приходила в голову мысль, что повышение температуры воды в глубинах океана может относиться к четко обрисованному объему в форме линзы. Слишком уж необычной казалась мысль о возможности существования (иначе трудно сказать!) в океане автономного громадного объема воды, почему-то не смешивающегося с окружающей водой. Что-то вроде микроструктуры в макромасштабе.

Не так просто найти линзу в океане. Ведь сверху ее не видно. Необходимо сделать много измерений температуры или солености воды в обследуемом районе. Тогда по точкам можно оконтурить массу воды с отличающимися параметрами и определить ее форму. Как уже упоминалось, соленость воды в океане обычно вычисляют по измеренным с помощью гидрофизических зондов электропроводности, температуре и давлению.

Первое сообщение о находке линзы в октябре 1976 г. принадлежит Мак Дауэллу. Линза была обнаружена в Атлантическом океане, к северу от Багамских островов, в точке с координатами 25° с. ш., 70° з. д.

Через год Дауэлл и Россби опубликовали еще одно сообщение с удивительными подробностями о той же линзе. Оказалось, что она прошла почти 6 тыс. км от того места, где образовалась. Так показал анализ ее воды. Ядро линзы, т. е. ее центральная часть, состояла из воды Средиземного моря.

Она располагалась на глубинах между 700 и 1300 м, имела диаметр около 200 км и перемещалась на юго — запад со скоростью примерно 6 см/с. Температура воды в ядре была выше температуры окружающей воды примерно на 1 °С, соленость —

выше на 0,2 промилле ($^0/_{00}$). Средняя соленость океана равна 35 $^0/_{00}$, т. е. 35 г. соли на 1 кг воды.

Выяснились и другие, очень важные подробности. Линза оказалась вихрем! Одиночным глубинным антициклоническим вихрем в форме линзы. Антициклонический означает, что он вращается по часовой стрелке (для северного полушария). Большие вихри на поверхности океана были открыты почти на десять лет раньше. Теперь найдены подводные вихри, еще более удивительные.

Позже учеными разных стран было исследовано много других линз в разных частях Мирового океана.

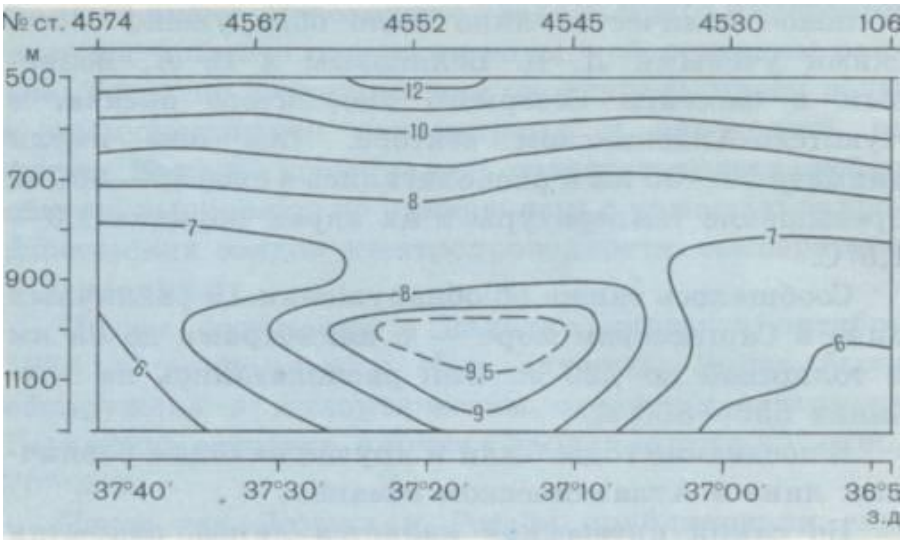
Большое количество линз было обнаружено советскими учеными Л. Н. Беляковым и В. А. Волковым в бассейне Северного Ледовитого океана, в Чукотско — Аляскинском секторе. Там они имели диаметр 20–30 км и располагались в слое 30—350 м, превышение температуры в их ядрах порядка 1,0–1,5 °С.

Сообщалось также об обнаружении 19 различных линз в Саргассовом море — с диаметрами до 65 км и толщиной до 220 м. Они располагались на глубинах 550–800 м.

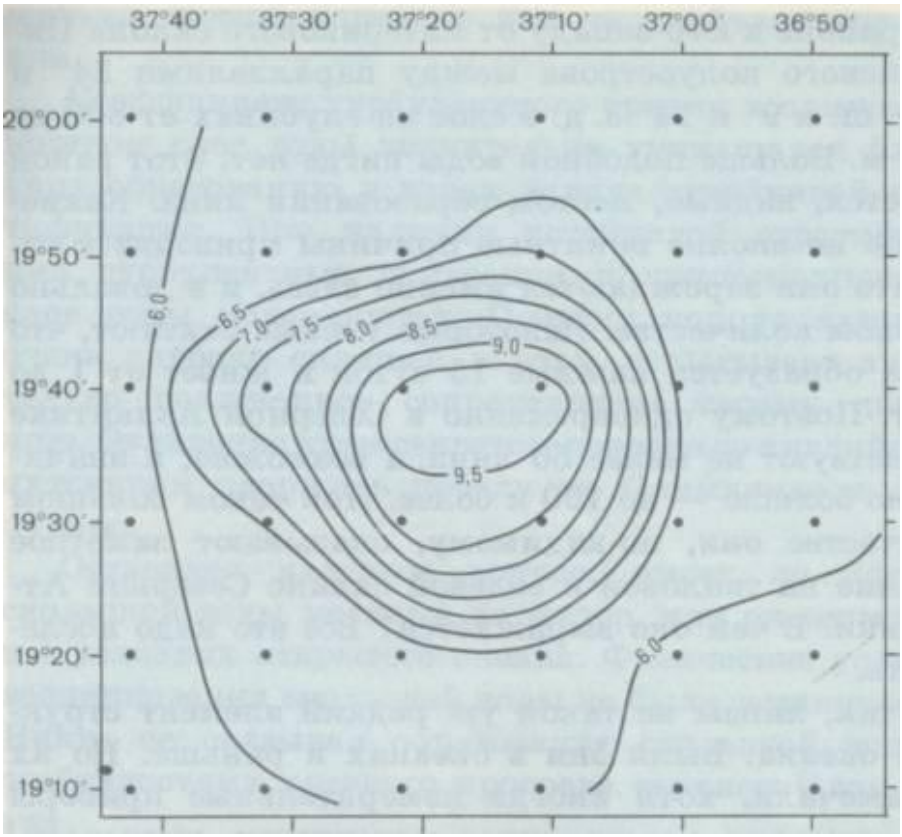
В последние годы были и другие находки различных линз в Атлантическом океане.

Но самой интересной является линза, открытая советской экспедицией «Мезополигон-85» в марте — июле 1985 г. в тропической части Северной Атлантики. В этой экспедиции работали три судна «Академик Мстислав Келдыш» (10–й рейс), «Академик Курчатов» (41–й рейс) и «Витязь» (9-й рейс). Центр района исследований имел координаты 20° с. ш., 37° з. д. Линза названа «Мезополигон-85». Она замечательна во многих отношениях. Прежде всего — высокой температурой ядра, достигавшей примерно 10 °С при температуре окружающих вод океана всего 6 °С. На четыре градуса выше!

А соленость в центре ядра линзы была 35,9 $^0/_{00}$ по сравнению с 35,0 $^0/_{00}$ для окружающих вод. Разница в солености 0,9 $^0/_{00}$, почти целая единица! Это очень много, потому что для средних условий океана изменение солености на 1 $^0/_{00}$ происходит по вертикали на протяжении нескольких тысяч метров. Здесь же такое изменение наблюдалось в пределах относительно скромных размеров. Линза располагалась на глубине в слое между 750–800 м и 1400–1500 м, т. е. ее размер по вертикальной оси был всего около 650–700 м.



Распределение температуры воды в линзе в вертикальной плоскости.



Распределение температуры горизонтальной плоскости воды

в линзе на глубине 1 тыс. м.

Диаметр линзы был в пределах 65–74 км, а ее центр находился на глубине примерно 1 тыс. м. Относительно этого горизонта линза имела несимметричную форму: ее нижняя часть несколько более растянута по вертикали, чем верхняя (см. рис. на с. 136).

На рисунке на с. 136 приведены построенные С. Л. Мещановым изотермы, характеризующие распределение температуры воды в линзе и около нее. Это — разрез по меридиональному направлению, сделанный на широте 19°40′ с. ш.

На рисунке на с. 137 дано распределение температуры воды для глубины 1 тыс. м в горизонтальной плоскости. На обоих рисунках линза четко обрисована замкнутыми линиями изотерм.

Объем линзы грандиозен — 2400 км^3 воды, более теплой и более соленой, чем окружающая ее вода. Наблюдения за линзой показали, что она двигалась в северо — восточном направлении со скоростью примерно 1,1–1,6 мили в сутки. Одновременно линза вращалась в горизонтальной плоскости. Скорость вращения, измеренная на окружности линзы, около 30 см/с. Направление вращения антициклоническое.

При своем движении в толще океана линза переносит 6,6110^{18} Дж тепловой энергии плюс 2,8910^{11} кг соли.

Вода, из которой состоит линза, средиземноморского происхождения. Она приходит в Северную Атлантику с нижним течением Гибралтарского пролива. Ядро линзы с температурой около 10 °С и соленостью около 36 $^0/_{00}$ образовалось при смешении средиземноморской воды с водами Атлантического океана в районе к юго — западу от материкового склона Пиринейского полуострова между параллелями 34° и 42° с. ш. и 9° и 14° з. д. в слое на глубинах от 800 до 1400 м. Больше подобной воды нигде нет. Этот район является, видимо, местом образования линз. Какие-то еще не вполне понятные причины приводят к тому, что они зарождаются именно! здесь, и в довольно большом количестве. Некоторые ученые считают, что линза образуется каждые 15 суток и живет от 1 до 3 лет. Поэтому одновременно в Северной Атлантике странствуют не менее 50 линз, а возможно, и значительно больше — до 100 и более. При таком большом количестве они, по — видимому, оказывают заметное влияние на тепловой и солевой баланс Северной Атлантики. В чем оно выражается? Все это надо исследовать.

Итак, линзы не такой уж редкий элемент структуры океана. Были они в океанах и раньше. Но их не замечали, хотя иногда

измерительные приборы и показывали неожиданное повышение температуры воды в глубинах: его обычно относили за счет инверсии или интрузии.

Найдено много линз. Но еще не найдены ответы на множество вопросов, связанных с ними. Например: как образуются линзы? Почему они не смешиваются с окружающей их водой океана? Почему практически не замечено понижение температуры воды в линзе? Много ли линз в других опанах? Как долго они живут и какую роль играют они там? Зачем-то ведь они нужны?

Скользкая вода. В 1968 г. английские ученые, наблюдая за движением яхт в прибрежной полосе, заметили, что иногда они движутся быстрее, чем обычно. Этот эффект получил название «скользкое море». Возникновение эффекта было объяснено сни жением потерь корпусов яхт на турбулентное трение.

Коэффициент турбулентного трения в приповерхностном слое воды значительно уменьшался благодаря образованию в водах залива устойчивой стратификации. При наличии устойчивой стратификации турбулентные пульсации в приповерхностном слое воды подавляются. Поэтому корпус яхты, не очень глубоко сидящей в воде, испытывает значительно пониженное сопротивление своему движению. Овладение этим секретом позволило английским яхтсменам одержать победу на Олимпиаде в Акапулько.

Оставался неясным вопрос, имеет ли эффект скользкой воды местный характер, или он возможен и в условиях открытого океана. Физические условия возникновения скользкой воды не были установлены. Никто не связывал образование скользкой воды с особенностями дневного прогрева верхнего слоя океана.

Советские ученые А. В. Соловьев и В. Н. Кудрявцев недавно провели в Атлантическом океане интересные эксперименты, позволившие получить ответы на эти важные вопросы (работа проводилась в экваториальной части Атлантики в 35–м рейсе НИС «Академик Вернадский»). Ученые связали образование скользкой воды с особенностями дневного прогрева самого верхнего метрового слоя океанской воды. Им удалось показать, что слой скользкой воды может образовываться не только в прибрежной зоне, но и в открытом океане. Они установили, что в зоне слабых ветров дневной прогрев верхнего слоя океана сопровождается образованием течения, сосредоточенного в верхнем метровом слое океана. Течение имеет явно выраженный периодический характер (с периодом в одни сутки). Оно затухает после захода Солнца и возобновляется с рассветом. Можно сказать, что это дневное, или «солнечное», течение.

Физическая причина возникновения течения связана с подавлением турбулентности в верхнем слое океана благодаря прогреву. В самом верхнем метре океанской воды поглощается до 60 % энергии солнечных лучей. Значительное поглощение солнечной радиации в этом слое воды приводит к существенному изменению турбулентного режима в нем.

Свои исследования ученые начали с измерения распределения температуры вблизи поверхности океана с помощью всплывающего зонда. Это дало точные данные о профиле температуры. Измерение скорости дневного приповерхностного течения производилось при помощи двух дрифтеров. Так называются небольшие поплавки с подводными парусами.

Один дрифтер имел парус с центром на глубине 35 см от поверхности, второй — на глубине 5 м. Оба дрифтера одновременно выпускались в океан со шлюпки в одной точке на расстоянии примерно в 1 км от судна. Через 20 мин положения обоих дрифтеров определялись при помощи судовой радиолокационной станции. Дрифтер с малозаглубленным парусом двигался значительно быстрее второго, практически остававшегося на месте. Расхождение между дрифтерами позволяло определить скорость течения. Погрешность измерения скорости оценивается экспериментаторами цифрой ± 2 см/с. В течение февраля — апреля 1987 г. было проведено 30 серий измерений. Они подтвердили первоначальные результаты. Так было обнаружено новое периодическое течение в открытом океане.

Вместо заключения. Творческий подход, изобретение измерительных приборов или использование давно известных по новой методике непрерывно открывают нам новые стороны «Великого Неизвестного».

Исследования океанологов каждый год приносят нам новые данные о Мировом океане. Например, в ходе эксперимента ХЭБЛ (Heigh Energy Benthic Boundary Layer Experiment) было обнаружено много необыкновенных явлений. Одно из них — подводные штормы. На глубине около 5 тыс. м, у дна, возникают подводные течения со скоростью до 70 см/с. Они поднимают осадки и взмучивают воду. Возникают слои замутненной воды толщиной в несколько сотен метров. Они висят над дном, как тучи песка над Сахарой во время пыльных бурь. Ученые назвали их нефелоидными слоями. Концентрация и распределение по размерам взвешенных частиц в них могут служить важным источником информации об активности придонных течений и свойствах поверхности дна.

Открытия в Мировом океане имеют не только высокое научное значение, часто они важны и для решения практических запросов народного хозяйства. Открытие подводных залежей ценных руд — один из примеров. Для быстрого использования таких открытий необходимо творческое участие новых сил — молодежи.

В заключение хочется привести замечательные слова академика П. Л. Капицы:

«Для правильного обучения современной молодежи нужно воспитывать в ней творческие способности, и делать это надо… начиная со школьной скамьи… Это фундаментальная задача, от решения которой может зависеть будущее нашей цивилизации не только в одной стране, но и в глобальном масштабе, задача не менее важная, чем проблема мира и предотвращения атомной войны».

Краткий словарь специальных терминов

Адвекция — медленный перенос отдельных слоев воды в толще океана в горизонтальном направлении.

Апвеллинг — подъем холодных глубинных вод на поверхность океана.

Волны Россби — особый класс волн, связанных со сферичностью Земли. Такие волны бывают в атмосфере и в океане. В обоих случаях восстанавливающей силой для колеблющихся частиц (воздуха или воды) является сила Кориолиса.

Гидротермы — горячие минерализованные источники на дне океанов.

Градиент — возрастание или убывание какой-либо физической величины на единицу длины.

Двойная диффузия — физический процесс, вызванный значительной разностью в скоростях молекулярной диффузии тепла и соли в океанской воде; приводит к образованию сложной микроструктуры в толще океана.

Диполь — два электрических заряда, равных по величине и противоположных по знаку. В океанологии этот термин применяется для описания грибовидных течений, где роль разноименных зарядов выполняют два вихря с противоположными направлениями вращения.

Железомарганцевые конкреции — минеральные образования, содержащие гидроокислы марганца и железа, а иногда и более ценные металлы, встречающиеся на дне океанов.

Инверсия — повышение температуры воды с глубиной. Инверсия может быть и в других полях, например — в поле плотности, когда плотность уменьшается с глубиной.

Интрузия — процесс внедрения магмы в толщу земной коры.

Когерентные структуры — применительно к грибовидным течениям этот термин означает согласованность процессов (течений), происходящих в симметричных частях «гриба».

Конвекция — перенос тепла струями воды.

Литосферные плиты — крупные жесткие блоки литосферы (верхней оболочки Земли), находящиеся в постоянном движении. Они перемещаются по астеносфере от зоны растяжения (спрединга) в срединных хребтах к зоне всасывания (субдукции). Наблюдаются также перемещения плит вдоль трансформных разломов.

Промилле ($^0/_{00}$) — единица измерения солености морской воды, т. е. сколько весовых частей солей приходится на 1 тыс. весовых частей воды.

Стратификация — разделение водной толщи на слои различной плотности. В Мировом океане она возникает главным образом благодаря изменениям температуры и солености.

Хемолитотрофные бактерии — микроорганизмы, использующие для своего питания минеральные неорганические вещества.